Die
Wirtschaftlichkeit des Maschinenbetriebes
einer oberschlesischen Steinkohlengrube.

Untersuchungen
auf der Ferdinandgrube der Kattowitzer Akt.-Ges.

Von der
Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung
der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation
von

Dipl.-Ing. Karl Schultze,
Breslau.

Referent: **Prof. Dr.-Ing. H. Baer.**
Korreferent: **Prof. Dr.-Ing. G. Hilpert.**

Kattowitz O.-S.
Gedruckt bei Gebrüder Böhm.
1913.

52722.

Die
Wirtschaftlichkeit des Maschinenbetriebes
einer oberschlesischen Steinkohlengrube.

Untersuchungen
auf der Ferdinandgrube der Kattowitzer Akt.-Ges.

Von der
Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung
der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

von

Dipl.-Ing. Karl Schultze,
Breslau.

Referent: **Prof. Dr.-Ing. H. Baer.**
Korreferent: **Prof. Dr.-Ing. G. Hilpert.**

Kattowitz O.-S.
Gedruckt bei Gebrüder Böhm.
1913.

Meiner Mutter.

INHALT.

	Seite
Vorwort	VII
1. Beschreibung der Anlagen	1
2. Die Dampferzeugung	16
3. Die geleisteten Nutzarbeiten	44
4. Die Dampfverteilung der Batteriekesselanlage	62
5. Die Dampfverteilung der Flammrohrkesselanlage	74
6. Der Energieverbrauch der Fördermaschinen	87
7. Der elektrische Betrieb	97
8. Der Druckluftbetrieb	109
9. Der Kohlenpreis	122
10. Das Anlagekapital, Verzinsung und Abschreibung	127
11. Die direkten Betriebskosten	132
Zusammenfassung	145

Vorwort.

Im Jahre 1910 stiftete Herr Dr.-Ing. h. c. Ilgner der Kgl. Technischen Hochschule Breslau einen Preis, aus dessen Mitteln die Kosten einer wirtschaftlichen Untersuchung von Bergwerks-Maschinenbetrieben bestritten werden sollten. Die Aufgabe, mit der der Verfasser betraut wurde, lautete:

> Der Preisträger hat während der Dauer eines Jahres nach Zuerkennung des Preises möglichst mehrere ganz oder größtenteils durch Dampf betriebene Bergwerksmaschinen-Einrichtungen Schlesiens einer Untersuchung zu unterziehen. Es soll, von der verbrannten Kohle und dem verdampften Wasser ausgehend, der Verbleib der Energie und der Wiedergewinn als mechanische Arbeit verfolgt werden, so daß sich ein genaues Bild der Wirtschaftlichkeit der ganzen Anlage im Jahresmittel ergibt.

Nachdem Herr Bergrat Dr.-Ing. h. c. Williger, der Generaldirektor der Kattowitzer Aktien-Gesellschaft, in dankenswertester Weise seine Anlagen den Zwecken der Untersuchung geöffnet hatte, besichtigte der Verfasser mehrere Steinkohlenzechen der genannten Gesellschaft und entschied sich schließlich für die Ferdinandgrube, deren Hauptschachtfördermaschinen durchweg mit Dampf betrieben wurden, während eine modern ausgestattete elektrische Zentrale die meisten anderen Betriebe, im besonderen die unterirdischen Wasserhaltungen, die Ventilatoren und eine Lokomotiv-Streckenförderung versorgte. Auch die seit

einem Jahre bestehende Druckluftanlage, welche dem Betriebe von Bohrhämmern und der Bewetterung mittels Düsen diente, reizte zu zahlreichen wirtschaftswissenschaftlichen Untersuchungen.

Von dem ursprünglichen Plane, mehrere Zechen in den Kreis der Arbeit zu ziehen, wurde bald Abstand genommen, als sich zeigte, daß die Fülle des zu verarbeitenden Stoffes auch nur einer einzigen Grube die Ausscheidung ansehnlicher Materien notwendig machte. Die für die Vornahme von Versuchsproben aufzuwendende Mühe erwies sich nämlich als gering gegenüber der Organisation, Durchführung und Auswertung einer Betriebskontrolle, welche den Verbleib der aus der Kesselkohle stammenden Energie in allen ihren Teilströmen erforschen und auch die im Laufe der Untersuchungszeit auftretenden Betriebsveränderungen berücksichtigen sollte. Des weiteren verursachte die Bestimmung der laufenden Betriebskosten eine Unsumme von Schreib- und Rechenarbeit, für die eine besondere Hilfskraft angenommen werden mußte.

Wenn nun aus diesem Grunde ein wichtiges Gebiet des Maschinenbetriebes, die Aufbereitung, abgesehen von der Feststellung ihres Energieverbrauches gänzlich ausgeschieden werden mußte, so glaubt doch der Verfasser durch eine im übrigen umfassende Darstellung des Maschinenbetriebes eine empfindliche Lücke in der technischen Literatur auszufüllen. Denn während sich über die wichtigeren Maschinen und Anlagen zahllose bis ins einzelne gehende Veröffentlichungen vorfinden, ist eine Darstellung des B e t r i e b e s an Beispielen, wie sie die Praxis und nicht der Vorentwurf des Fabrikanten liefert, nur selten unter Einbeziehung aller wirtschaftlichen Momente versucht worden. Neben diesem Hauptzwecke der Arbeit dürften auch Teilergebnisse wie die Betriebskosten einzelner Maschinen und Anlagen, der Dampfverbrauch der Fördermaschinen, die Ökonomie des Druckluftbetriebes etc. willkommene Beiträge liefern. Wer aller-

dings in allen Teilergebnissen Resultate sehen will, die ihren vollen wissenschaftlichen Wert auch außerhalb des übrigen Stoffes beibehalten, wird vielleicht hier und da von dem geringen Maß der Genauigkeit enttäuscht sein. Man bedenke jedoch, daß der Summe der aufzuwendenden Arbeit durch die zur Verfügung stehende Zeit und die Mittel bestimmte Grenzen gezogen waren und daß jede Beschäftigung mit einer Einzelmaterie nur auf Kosten der anderen geschehen konnte, so daß überall gemäß der Bedeutung des betreffenden Gegenstandes für das Gesamtbild verfahren werden mußte.

Der meßtechnische Teil der Untersuchung begann nach voraufgegangenen zweimonatlichen Literaturstudien am 15. Oktober 1911 und endete am 31. August 1912. Da die Einrichtung einer Betriebskontrolle unverzüglich in Angriff genommen wurde, so konnte der Energieverlauf 10 Monate beobachtet werden, während für die wirtschaftlichen Berechnungen auch noch die Betriebskosten eines elften Monates berücksichtigt wurden. Auf diese Weise konnte in allen Fällen mit genügender Annäherung ein Schluß auf das Jahresmittel gezogen werden.

Neben Herrn Dr.-Ing. h. c. Ilgner, von dem die Idee der Arbeit in ihren Grundzügen ausgegangen ist und dem für die Hergabe der Mittel der erste Dank gebührt, hat sich die Verwaltung der Kattowitzer Aktien-Gesellschaft dadurch, daß sie in selbstloser Weise ihre Anlagen den Zwecken einer kritischen Untersuchung öffnete, das größte Verdienst erworben. Es konnte nicht fehlen, daß eine solche Arbeit, namentlich wo sie sich auf rein wirtschaftliches Gebiet wagte, sich teilweise in bewußten Gegensatz zu den Anschauungen und Dispositionen der leitenden Persönlichkeiten setzte. Umsomehr muß das außerordentliche Entgegenkommen insbesondere des Werksleiters, Herrn Bergwerksdirektor Bergassessor Edelmann, anerkannt werden. Ohne seine weitgehende Hilfeleistung, die sich namentlich im Stellen von Monteuren, sowie der Beschaffung nötiger Meß-

einrichtungen äußerte, und ohne das entgegengebrachte persönliche Interesse, das die glatte Abwickelung zahlreicher den Betrieb immerhin nicht unberührt lassender Versuche förderte, hätte die Arbeit niemals eine so reiche Ausbeute erzielen können. Die meisten der erforderlichen Meßinstrumente stellte bereitwilligst das Maschinenlaboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Breslau zur Verfügung, dessen Vorsteher, Herr Professor Dr.-Ing. Baer dem Verfasser in zahlreichen Einzelfragen wie auch bei der redaktionellen Abfassung seinen wertvollen Rat angedeihen ließ. Bei einigen besonders langen Versuchsproben, sowie beim Indizieren leistete Herr Ingenieur Bochmann liebenswürdigst Beistand. Allen diesen Herren, welche an der vorliegenden Arbeit wirksamen Anteil nahmen und ihre Durchführung ermöglichten, sowie auch den Herren Beamten der Ferdinandgrube, die sich während der langen Untersuchungszeit stets gern in den Dienst der Sache gestellt haben, sei an dieser Stelle herzlicher Dank gesagt.

Die für die elektrischen Messungen erforderlichen zahlreichen Instrumente stellten bereitwilligst die Siemens-Schuckert-Werke zur Verfügung. Desgleichen lieh die Hallwachsgesellschaft m. b. H. einen Dampfmesser mit erweitertem Meßbereich. Die Unterstützung der genannten Firmen hat gleichfalls die Arbeit wesentlich gefördert und den wärmsten Dank verdient.

ERSTER ABSCHNITT.

Beschreibung der Anlagen.

Das Bergwerk wurde im Jahre 1823 verliehen und zunächst zwei Jahrzehnte hindurch ausschließlich im Tagebau betrieben. Die ersten, längst verschwundenen Maschinen datieren aus den vierziger Jahren. Ein eigentlicher wirtschaftlicher Aufschwung konnte sich jedoch erst in jüngerer Zeit bemerkbar machen, als die Entwickelung der modernen Technik die Möglichkeit schaffte, zur Bewegung der gewaltigen Kohle-, Berge- und Wassermassen Maschinenkräfte in größerem Umfange nutzbar zu machen. Von da löste ein Fortschritt den anderen ab. Die alten Gestänge-Wasserhaltungsmaschinen mußten den unterirdischen Dampfwasserhaltungen weichen, die gegenwärtig jedoch nur noch als Reserve in Stand gehalten werden, während die gesamte Wasserhaltung durch elektrisch betriebene Pumpen besorgt wird. Die unwirtschaftliche Streckenförderung mit Pferden wurde von maschinellen mit Dampf betriebenen Einrichtungen verdrängt, die ihrerseits wiederum der elektrischen Lokotivförderung haben den Platz räumen müssen. Von einer alten Niederdruckkesselanlage sind nur noch Gebäudeteile stehen geblieben, die zu Lagerräumen und Werkstätten Verwendung fanden. Eine hundertpferdige Dynamo-Lichtmaschine vom Jahre 1893 war der Ausgangspunkt, von dem aus sich eine mit allen modernen Hilfsmitteln ausgestattete

elektrische Zentrale entwickelte. Man muß diese in keinem Momente ruhende Ausbreitung des Werkes und den Umstand, daß zu allen Zeiten der volle Betrieb aufrecht erhalten werden mußte, in ganzer Tragweite im Auge behalten, wenn man die Anlagen in gerechter Weise würdigen will.

Die Ferdinandgrube ist mit einer Förderung von einer Million Tonnen pro Jahr die erste Grube der Kattowitzer Aktien-Gesellschaft. Sie verfügt gegenwärtig über ein Grubenfeld von 6,47 qkm. Ihre Belegschaft zählt 2800 Köpfe.

Der Maschinenbetrieb untersteht einem Maschinenmeister und sechs Maschinensteigern. Außerdem steht dem technischen Direktor zur Führung der Oberleitung über die Maschinenbetriebe aller Werke der Gesellschaft ein Bureau zur Seite, das jedoch ausschließlich mit Bureauarbeiten beschäftigt ist, mit dem Betrieb selbst nicht in Berührung kommt.

Die Betriebskraft der Grube ist Dampf, Elektrizität und Preßluft. Mit Dampf betrieben werden die Fördermaschinen, die elektrische Zentrale und einige kleinere Arbeitsmaschinen. Der Preßluftbetrieb dient zum Antriebe von Bohrhämmern, Schüttelrinnen, einiger kleiner unter Tage aufgestellter Ventilatoren, Haspel und Pumpen, sowie zur Bewetterung mittels Düsen. Über Tage wird Druckluft nur in sehr geringem Maße für Werkzeuge und eine Förderwagen-Schmiervorrichtung verwendet. Die gesamte übrige maschinelle Einrichtung der Grube hat elektrischen Antrieb.

A. Die Dampfwirtschaft.

Die Grube besitzt zwei von einander getrennte, räumlich nebeneinander liegende Kesselanlagen, die eine für Sattdampf von 7 Atm. Überdruck, die andere für Heißdampf von 10 Atm. Überdruck. Die Sattdampfkesselanlage ist die ältere. Sie besteht aus 9 im Jahre 1892 von der Hubertushütte und 9 in den Jahren 1897 und 1901 von Fitzner,

Laurahütte gelieferten Zweiflammrohrkesseln von je 80 qm Heizfläche und 2,64 qm Rostfläche. Diese sowohl wie die Heißdampfkesselanlage arbeitete während der Untersuchungszeit mit Handfeuerung, letztere Anlage wird jedoch gegenwärtig für Wanderroste, System Placzek, umgebaut. Die Kesselkohle wird durch eine von der Wilhelmshütte

Figur 1. Der Grubenhof.

erbaute, erst im Versuchsjahre fertiggestellte Elektrohängebahn von den Separationen aus in die oberhalb des Bedienungsraumes sich hinziehenden Silos geschafft. Von da fällt sie durch Trichter vor die Kessel und wird mit der Schaufel entnommen. Verfeuert wird die im Überschuß vorhandene, teilweise durch Lagerung in den Beständen verwitterte Staubkohle und die auf den Klaubebändern der Separationen abgesonderte Schieferkohle. Als Speisewasser wird das aus der Zentralkondensation kommende Kondensat und das Kühlwasser aus zwei Turbogeneratoren und einem

Kompressor verwendet. Letzteres wird durch eine besondere 1 km entfernt liegende elektrische Pumpstation aufgebracht, die das Wasser einem Waldbache entnimmt und ohne besondere Reinigung den Kühltürmen, den Turbogeneratoren

Figur 2. Elektrohängebahn.

und dem Kompressor zudrückt. Diese Pumpen haben zu bestimmten Jahreszeiten unter erheblichem Wassermangel zu leiden. In solchem Falle werden die Wasser der 200 m Sohle, welche durch den Spülversatz nicht verunreinigt sind und gewöhnlich der 300 m Sohle zufließen, sowie die Wasserleitung des Kreises zur Deckung des Bedarfes herangezogen.

Vorwärmer oder Ekonomiser sind nicht vorhanden. Die Kesselspeisung erfolgt durch dampfangetriebene Kolbenpumpen.

Die Flammrohrkesselanlage versorgt die drei Hauptschachtfördermaschinen und liefert den weitaus größten Teil des auf der Grube zu Heizzwecken benötigten Dampfes. Außerdem sind an sie die in Reserve stehenden unterirdischen

Figur 3. Bekohlungsanlage.

Dampfwasserhaltungen, ein nur wenig beanspruchter Dampfaufzug, eine kleine Pumpenanlage, eine Förderwagenausstoßvorrichtung und eine Imprägniervorrichtung für Grubenhölzer angeschlossen. Die Führung der Dampfleitung ist aus Figur 4 ersichtlich.

Die Fördermaschine Mauveschacht ist die älteste der in Betrieb befindlichen Maschinen. Sie wurde 1865 von der Firma F. C. Egells, Berlin erbaut und hat im Laufe der Zeit eine Reihe von Umänderungen erfahren. Nunmehr fährt sie als 200 PS.-Zwillingsmaschine mit indirekter Kulissen-

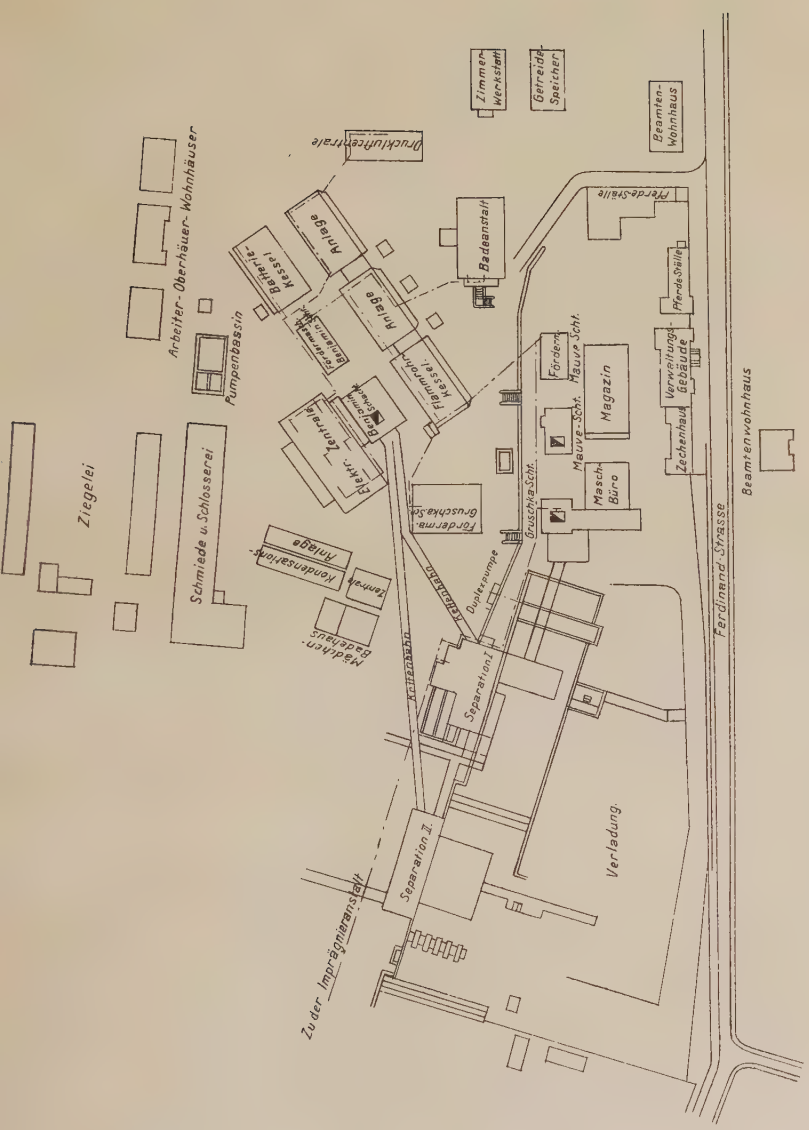
Schiebersteuerung und einem Admissionsüberdruck von 5 Atm. Die Dampfspannung wird unmittelbar an der Kesselanlage durch ein Reduzierventil heruntergedrosselt. Zylinderdurchmesser 850 mm, Hub 1570 mm. Die Koepemaschine fördert aus 274 m Teufe eine Nutzlast von 1250 kg. Die Schale hat zwei Etagen für je einen Kasten; sie wird einmal umgesetzt. Der Seilausgleich erfolgt durch Unterseil.

Die Fördermaschine Benjaminschacht ist eine 600 PS.-Zwillingsmaschine mit direkter Kraftscher Ventilsteuerung. Zylinderdurchmesser 1100 mm, Hub 2000 mm. Die Maschine wurde 1893 von der Iselburger Hütte erbaut und fördert ohne Unterseil mittels Seiltrommel aus 286 m Teufe eine Nutzlast von 5000 kg.

Die Fördermaschine Gruschkaschacht ist eine 1000 PS.-Verbundmaschine mit indirekter Kraftscher Ventilsteuerung und Trommel von 9 m Durchmesser. Zylinderdurchmesser 1250/1700 mm, Hub 2400 mm. Die Maschine wurde 1902 von der Maschinenbauanstalt Breslau erbaut und fördert aus 391 m Teufe eine Nutzlast von 5000 kg. Im Versuchsjahr erhielt sie einen Schönfeldschen Fahrtregler. Der Seilausgleich erfolgt durch Unterseil.

Benjamin- und Mauveschacht fahren mit 7 Atm. Admissionsüberdruck. Alle drei Fördermaschinen sind an die Zentralkondensation angeschlossen, sie fuhren jedoch während eines großen Teiles der Untersuchungszeit aus Betriebsgründen auf Auspuff.

Die andere Kesselanlage, die den Heißdampf für die in der Zentrale befindlichen Turbinen und Maschinen, den Kompressor und den kleineren Teil der Heizung liefert, besteht aus 8 im Jahre 1899 von H. Koetz, Nikolai O.-S., und 8 in den Jahren 1904 und 1905 von Fitzner, Laurahütte O.-S. gelieferten Doppelwalzenkessel von je 88 qm Heiz- und 4,28 qm Rostfläche. Nachträglich, im Jahre 1910 wurden Überhitzerrohre eingebaut. Die Überhitzungstemperatur beträgt ca. 350 °.



Figur 4. Lageplan.

Die in den Jahren 1899 bis 1909 erbaute elektrische Zentrale verfügt gegenwärtig über eine Leistung von 4170 KW., die von folgenden sechs Generatoren aufgebracht wird:

2 stehende Verbundmaschinen von je 400 und 600 PS. mit Schiebersteuerung, erbaut 1898 und 1900 von der Karlshütte, Altwasser, n = 150/Min.;

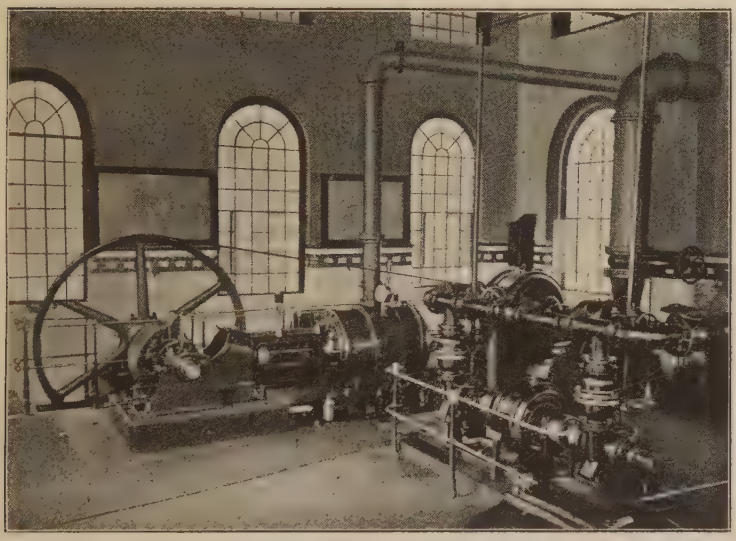
2 liegende 1000 PS.-Verbundmaschinen mit Ventilsteuerung, erbaut 1903 und 1904 von der Maschinenbauanstalt Breslau und von Borsig, Tegel, n = 100/Min.;

2 A.E.G. Curtisturbinen von je 1500 PS., n = 3000/Min., aufgestellt 1908. Sie besitzen automatische Drosselregulierung, je zwei Düsengruppen sind von Hand zuschaltbar.

Die Turbinen sowohl wie die Kolbenmaschinen und der in einem besonderen Gebäude aufgestellte 485 PS.-Kolben-Verbund-Kompressor sind an die Zentralkondensation angeschlossen. Der Kompressor wurde im Jahre 1910 von der Firma G. A. Schütz, Wurzen i. Sa. geliefert. Er saugt normal bei 80 uml./Min. eine Luftmenge von 5000 cbm/Std. an und verdichtet sie auf 6 Atm. Überdruck. Der Hochdruckdampfzylinder arbeitet mit dem Hochdruckluftzylinder, der Niederdruckdampfzylinder mit dem Niederdruckluftzylinder in Tandemanordnung. Ein zweiter Kompressor gleicher Bauart für 8000 cbm-Std. befindet sich noch im Bau.

Die von der Firma Balcke, Bochum in den Jahren 1905 bis 1907 erbaute Zentralkondensation besitzt zwei stehend angeordnete Oberflächen-Kondensatoren für eine Kondensatmenge von 60 cbm-Std. Das von dem Dampfzylinder der Kolbenmaschinen herrührende Öl wird vor den Kondensatoren in einem Ölabscheider abgesondert. Jeder der Kondensatoren hat ein eigenes elektrisch angetriebenes Luftpumpen- und Kühlwasserpumpenaggregat. Die Kühlwasserzentrifugalpumpe ist direkt gekuppelt mit dem Elektromotor, während der Antrieb der Kolbenluftpumpe

von dem gleichen Motor aus durch Riemenscheibe erfolgt. Ein dritter Motor treibt die beiden Zentrifugalpumpen für das Ölwasser und das Kondensat an. Die Rückkühlung des Wassers erfolgt durch zwei Kaminkühler; der durch Verdunstung verloren gehende Betrag wird durch die erwähnte Pumpstation am Waldbach aufgebracht.



Figur 5. Die Zentralkondensation.

Einen recht beträchtlichen Teil des auf der Grube erzeugten Dampfes beansprucht im Winter die Heizung des Badehauses, der Bureaux, der Reparaturwerkstätten, der Betriebsgebäude und der einziehenden Schächte. Hierfür wird der Dampf zum Teil durch einfache Absperrventile, zum Teil durch Reduzierventile auf 3 bis 5 Atm. Überdruck gedrosselt. Das in den Heizkörpern abgeschiedene Kondensat geht verloren; es ist jedoch zur Zeit ein Projekt in Bearbeitung, welches diese Mengen dem Kesselspeisewasser zuführen soll.

Die Wasserhaltung erfolgt durchweg elektrisch; auf der 100, 200 und 300 m Sohle werden jedoch die alten Dampfwasserhaltungen in Reserve gehalten. Zum gleichen Zwecke sind in den Aufbereitungsanstalten die Dampfmaschinen erhalten geblieben und mittels Schleppkurbelgetrieben mit den elektrischen Antriebsmotoren verbunden.

Weiterhin besitzt der von der Hauptanlage ca. 1 km entfernt liegende Ludwigschacht eine eigene Dampfkesselanlage, welche, 1900 erbaut, aus drei Wasserröhrenkesseln mit Oberkesseln von je 150 qm Heizfläche und 4,32 bezw. 3,67 qm Rostfläche besteht. Die Kessel, von denen immer nur einer im Betriebe ist, haben Handfeuerung und erzeugen Sattdampf von 10 Atm. Überdruck. Verfeuert wird Staubkohle der Ferdinandgrube. Die Kesselspeisung geschieht durch zwei dampfangetriebene Kolbenpumpen. Die Kesselanlage bestreitet den von einem Badehause, einer nur der Seilfahrt dienenden Fördermaschine und der Heizung des Zechenhauses benötigten Dampfbedarf. Die 1899 in Betrieb genommene 200 PS.-Zwillings-Auspuff-Fördermaschine besitzt indirekte Kraftsche Ventilsteuerung und fördert ohne Seilausgleich mit Trommel aus einer Teufe von 96,74 m. Zylinderdurchmesser 450 mm, Hub 1250 mm. Der Ludwigschacht dient gleichzeitig als ausziehender Wetterschacht. Der Ventilator hat elektrischen Antrieb. Zur Reserve steht eine an die beschriebene Kesselanlage angeschlossene Dampfmaschine in Bereitschaft.

B. Der elektrische Betrieb.

Die Generatoren der Zentrale erzeugen durchweg Drehstrom von 550 Volt Spannung und 50 Perioden. Die Regulierung der Spannung erfolgt durch zwei Tirrillregler, welche auf die an den Turbinenwellen fliegend angeordneten Erregermaschinen wirken. Die Erregung der Kolbenmaschinen-

aggregate erhält ihre Energie durch 2 Motorumformer von 70 und 100 PS., deren einer in Reserve steht.

An die Zentrale sind angeschlossen 113 Motore und 33 Transformatoren. Außerdem wird ca. 23 % des erzeugten Stromes an die der Kattowitzer Aktien-Gesellschaft gehörende Marthahütte abgegeben.

Während der größte Teil der Motore für 500 Volt gebaut ist, geht man in der jüngsten Zeit mehr und mehr dazu über, eine höhere Spannung zu bevorzugen. Hierzu sind an das Doppelsammelschienensystem der 550 Volt-Anlage zwei 1000 KVA-Transformatoren angeschlossen, die den Strom auf 2200 Volt umformen. Auf den einzelnen Sohlen sind gleichfalls Sammelschienensysteme angeordnet, denen der Strom direkt von der Zentrale aus oder über das Sammelschienensystem einer höher gelegenen Sohle mittels Kabel zugeleitet wird. Ebenso sind an geeigneten Stellen über Tage Verteilungsstationen eingerichtet. (Fig. 6 u. 7.)

I. Die Wasserhaltung.

Die gesamte Wasserhaltung erfolgt von der 300 und 500 m-Sohle; und zwar drückten bis in die zweite Hälfte des Versuchsjahres lediglich die Pumpen der 300 m-Sohle die Wasser zu Tage, während die der 500 m-Sohle die dort zusitzenden Wasser nach der 300 m-Sohle hoben. Nach Inbetriebnahme einer neuen Wasserhaltung auf der 500 m-Sohle können nunmehr auch diese Wasser direkt zu Tage gefördert werden. Eine elektrisch angetriebene 90 PS.-Riedlerpumpe auf der 200 m-Sohle für 1,5 cbm/Min. Leistung steht in der Regel ebenso wie die Dampfwasserhaltungen in Reserve, nur zu Zeiten, wo die Pumpstation am Waldbach Wassermangel leidet, deckt sie, wie erwähnt, einen Teil des fehlenden Bedarfes.

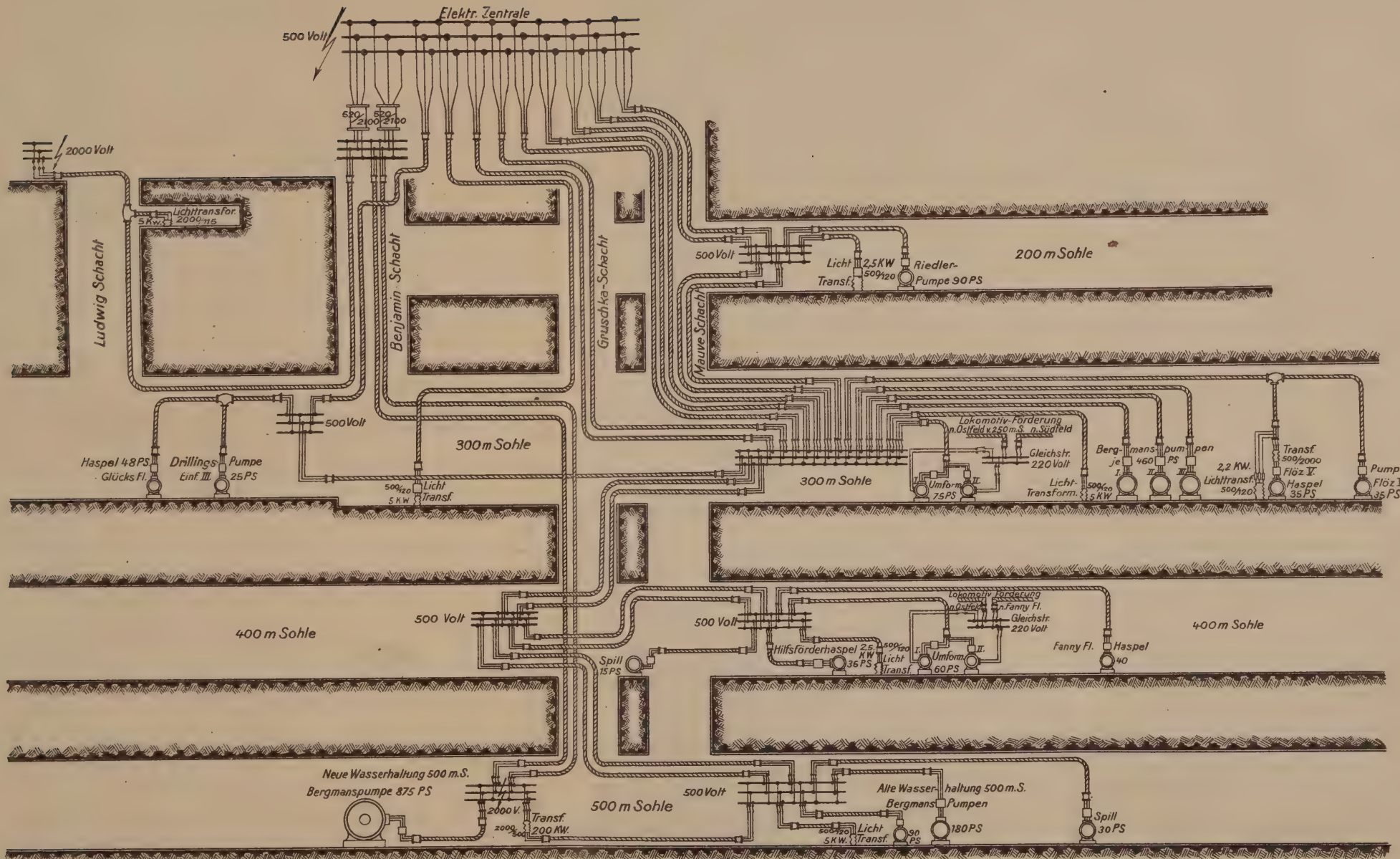
Die Wasserhaltung der 300 m-Sohle besteht aus drei von der Maschinenbauanstalt Breslau in den Jahren 1900 bis 1907 erbauten 460 PS.-Drillings-Differentialpumpen, System

Bergmans. Die Förderleistung beträgt je 5,5 cbm/Min. Zwei der Pumpen gießen nach der Hauptanlage aus, während die dritte Pumpe durch Drosselung ihrer Druckleitung nach der Hauptanlage ihr Wasser auch nach dem einige Meter höher liegenden Außenschacht Ludwig drücken kann, wo große Mengen zum Spülversatz benötigt werden. Zwei kleine Pumpen sind im Unterwerksbau der 300 m-Sohle aufgestellt und pumpen die dort zusitzenden Wasser in den Sumpf der 300 m-Sohle. Es sind dies eine 25 PS.-Drillingspumpe in der Einfallenden III des Westfeldes, erstellt von der Firma Hoppe, und eine 35 PS.-Hochdruckzentrifugalpumpe der Firma Ganz & Co. im Flöz V. Beide Maschinen haben nur stundenweise zu fördern.

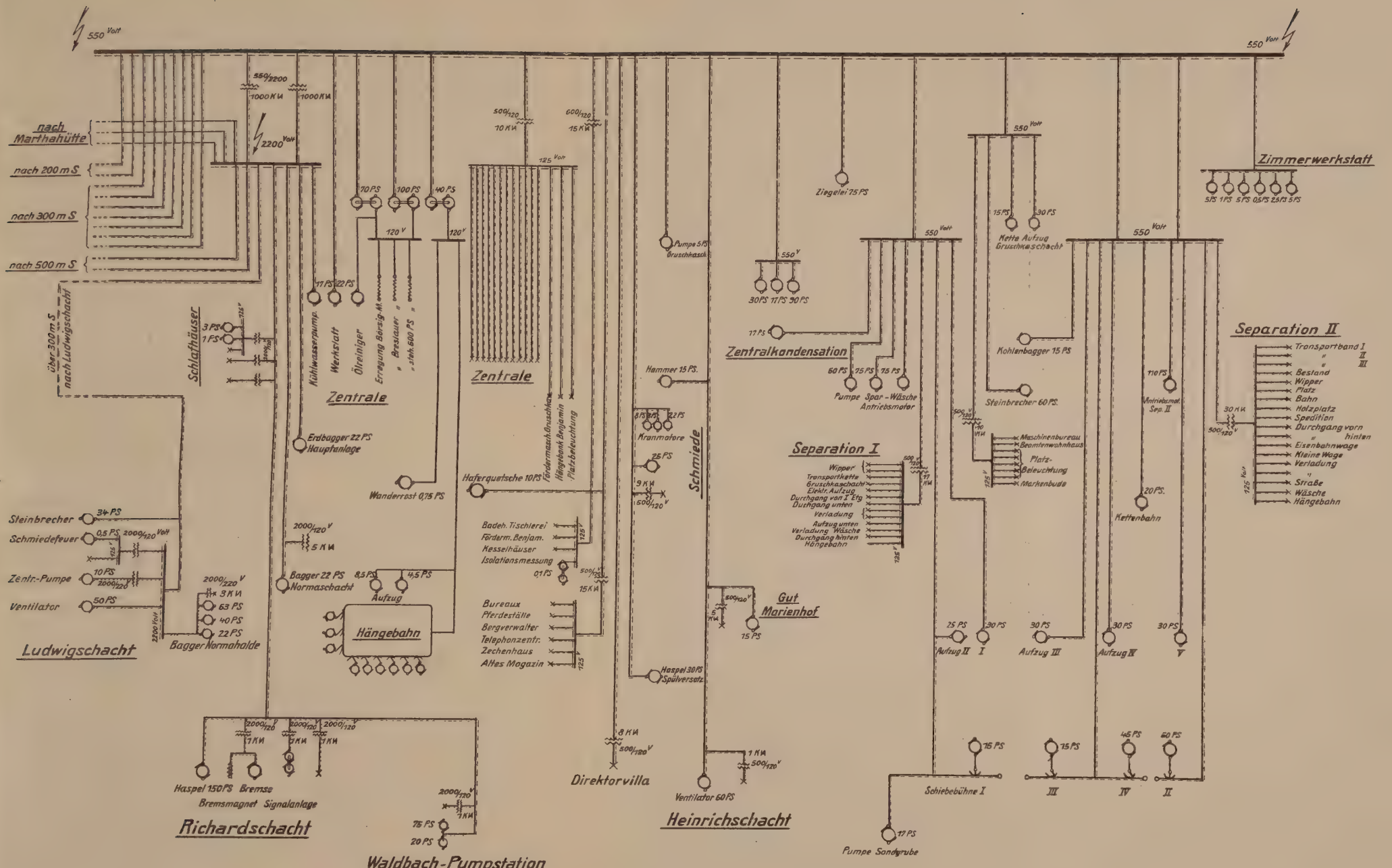
Die Wasserhaltung der 500 m-Sohle besteht aus zwei von der Maschinenbauanstalt Breslau in den Jahren 1901 bis 1905 erbauten Zwillingsdifferentialpumpen, System Bergmans, von je 90 und 190 PS. Die Förderleistung beträgt je 1,5 und 3 cbm/Min. Diese Pumpen gießen in den Sumpf der 300 m-Sohle aus. Während des Versuchsjahres kam eine neue 875 PS. - Zwillingsdifferentialpumpe, System Bergmans, in Betrieb, die bei einer Leistung von 6 cbm/Min. direkt zu Tage fördert. Ihr Antriebsmotor ist für eine Drehstromspannung von 3 × 2000 Volt bestimmt und wird direkt von der Zentrale aus durch zwei Kabel von je 3 × 150 qmm gespeist. Alle anderen Wasserhaltungsmaschinen erhalten ihren Strom von einem 500 Volt-Sammelschienensystem auf der 300 m-Sohle, welches durch sieben Kabel ven je 3 × 120 qmm gespeist wird. Als Reserve ist auf der 500 m-Sohle die Versorgung der beiden kleineren Pumpen über das 2000 Volt-System vorgesehen, indem ein Transformator den Strom auf 500 Volt heruntertransformiert.

II. Die Bewetterung.

Die Bewetterung erfolgt von zwei Außenschächten aus, dem Ludwigschacht und Richardschacht, durch saugende



Figur 6. Schaltungsschema der Kabel unter Tage.



Figur 7. Stromverteilung über Tage.

Capell-Ventilatoren. Den einziehenden Wetterstrom führen die Hauptförderschächte. Der Ventilator auf Ludwigschacht saugt bei einer normalen Depression von 28 mm Wassersäule eine Wettermenge von 4000 cbm/Min. an. Sein 50 PS.-Antriebsmotor wird durch ein 2000 Volt-Kabel von der Hauptanlage her gespeist. Der 60 PS.-Antriebsmotor des Ventilators auf Richardschacht, welcher der Hauptanlage erheblich näher liegt, wird noch mit 500 Volt versorgt. Dieser Ventilator saugt bei 68 mm Depression eine Wettermenge von 2500 cbm/Min. Die Wetterführung erfolgt in der üblichen Weise. Um beim Streckenbetriebe an Querschlägen zu sparen, wird die Wirkung der Lutten durch ejektorartig arbeitende Düsen verstärkt, welche am Anfange oder Ende einer Luttentour eingebaut und an das Preßluftleitungsnetz angeschlossen sind. Außerdem diente zeitweise ein kleiner preßluftbetriebener Ventilator der Sonderbewetterung einzelner Strecken.

III. Die Schacht- und Streckenförderung.

Die Hauptschachtfördermaschinen haben, wie bereits ausgeführt, Dampfantrieb. Da Benjamin- und Mauveschacht aus 300 m Teufe, Gruschkaschacht aus 400 m Teufe zu Tage fördert, so mußte die auf 500 m-Sohle gewonnene Kohle auf die nächsthöhere, die 400 m-Sohle gehoben werden. Dies geschieht durch einen elektrischen 36 PS.-Haspel, der auf einetagiger Schale eine Nutzlast von 600 kg hebt. Ein weiterer bis auf 340 m Teufe niedergebrachter Schacht, der Richardschacht, dient in der Hauptsache zum Holzeinhängen, daneben der Förderung von einer Sohle zur anderen. Der von der Breslauer Maschinenbauanstalt gelieferte, über Tage aufgestellte 150 PS.-Haspel fördert mittels Trommel von 3 m Durchmesser auf zweietagiger Schale eine Nutzlast von 1200 kg. Der Antriebsmotor wird durch ein 2000 Volt-Kabel gespeist. Der Antrieb dieser Haspel erfolgt ebenso wie bei den der Streckenförderung dienenden durch Drehstrom-Asynchron-Motore mit Widerstandsregelung.

Von den Kohlengewinnungspunkten wird die Förderung durch preßluftbetriebene Schüttelrinnen oder mit Pferden zu den Haspeln oder Bremsbergen geschafft. Im allgemeinen zieht man es vor, die Förderwagen bis auf die nächsttiefergelegene Sohle hinunter zu bremsen. Nur zwei elektrisch betriebene Haspel auf der 300 m-Sohle sind für die Streckenförderung dauernd in Betrieb. Zeitweise in Benutzung sind auch einige kleine Preßluft-Haspel, welche häufig abgebrochen und an anderer Stelle wieder aufgestellt werden. An die Schächte wird dann die Förderung durch elektrische Lokomotiven gebracht. Die Lokomotivförderung verfügt über elf Lokomotiven auf der 250 und 300 m-Sohle, und über vier Lokomotiven auf der 400 m-Sohle.

IV. Die Aufbereitung.

Die Aufbereitungsanstalten bestehen aus zwei Trockenseparationen und einer Kohlenwäsche. Separation I wird durch einen 75 PS.-Motor angetrieben. Die Förderung wird mittels einer Kettenbahn zu einem Doppelkreiselwipper geschafft, wo sie auf ein Caroprost gestürzt wird. Die einzelnen Kohlensorten fallen in die Markusrinne, welche sie über Transportbänder zu den Eisenbahnwaggons schafft. Die schieferhaltigen Kohlen werden während des Transportes auf dem Bande von weiblichen Arbeitern und Invaliden ausgeklaubt und dann in einem Steinbrecher gebrochen. Ein Becherwerk hebt darauf die zerkleinerte Kohle und stürzt sie auf ein Schüttelsieb, wobei die Sorten unter 70 mm in Rohkohlentürme fallen. Die größeren Stücke werden in Kippwagen abgezogen und zur Kesselfeuerung verwendet.

Die Kleinkohle wird aus vorgenannten Rohkohlentürmen mit Hilfe zweier Becherwerke gehoben und der Wäsche zugeführt, deren Antrieb ein 75 PS.-Motor besorgt. Staubkohle wird vorher trocken abgezogen und gelangt mit Hilfe einer Schnecke zum Staubbecherwerk, welches die Kohle in die Verladetasche schüttet.

Das Wasser, welches zum Waschen der Kohle benötigt wird, hebt eine elektrisch angetriebene Zentrifugalpumpe von 4 cbm/Min. Leistung. Nach der Benutzung wird das Wasser in einen Klärraum geführt, wo sich die erdigen Bestandteile setzen, während die reine Flüssigkeit nach dem Pumpenbassin wieder abfließt.

Die Separation II, welche in nur zehnstündiger Schicht arbeitet, wird durch einen 120 PS.-Motor angetrieben. Vermittels einer Kettenbahn wird die Förderung wieder zu einem Doppelkreiselwipper geschafft und auf den unter dem Wipper befindlichen Caroprost gestürzt. Stückkohle von über 120 mm gleitet auf das Stückkohlentransportband und wird in die Eisenbahnwagen verladen. Unter dem Caroprost ist der Schwittalsche Rätter montiert, mit dem durch ein Kleinkohlenband ein Pendelrätter verbunden ist. Von den einzelnen Sieben aus wird die Kohle durch Transportbänder zu den Verladetaschen gebracht. Die mit Schiefer verwachsenen Kohlen werden in derselben Weise wie in Separation I abgesondert. Zum Stürzen der Kohle in die Bestände und der Berge auf die Halden wird das Material durch fünf elektrisch betätigte Aufzüge von 30 und 25 PS. gehoben. Der Verladung der Kohle in Eisenbahnwaggons dienen vier elektrische Schiebebühnen von 15, 15, 45 und 60 PS.

ZWEITER ABSCHNITT.

Die Dampferzeugung.

I. Die Messungen.

Bis zur Inbetriebnahme der Bekohlungsanlage, die eine automatische Wagenzählvorrichtung erhielt, war die Messung der verfeuerten Brennstoffmenge eine außerordentlich ungenaue. Sie erfolgte gleichzeitig an zwei verschiedenen Stellen: einmal auf Seiten der Grubenabteilung, die in der Separation durch Frauen die für die Kesselhäuser abgesonderten Wagen zählen ließ, und ferner auf Seiten des Maschinenbetriebes, wo die Kesselwärter die einkommenden Wagen registrierten. In beiden Fällen geschah dies in bekannter Weise mittels Stechbrettern. Die Ergebnisse dieser Zählungen wiesen nun auffallend große Differenzen auf, die damit zu erklären sind, daß einerseits die betreffenden Arbeiter mit anderweitigen Arbeiten stark belastet waren, und daß andererseits jeder in seiner Weise bestrebt sein mußte, die Resultate optimistisch zu färben. Der Maschinenbetrieb sollte natürlich so sparsam wie möglich wirtschaften und schied demzufolge bei der Zählung die schlecht gefüllten Kippen oder solche, die ganz besonders schieferhaltige Kohle enthielten, aus. Die Grubenabteilung aber suchte sich für ein Defizit, das etwa von schlecht gefüllten Förderwagen oder anderen Ursachen herrühren konnte, an ihrem bequemsten Abnehmer, dem Maschinenbetriebe schadlos zu halten. Zahlentafel 1 gibt die

Zahlentafel 1.

	Verfeuerte Kesselkohle t		
	nach Angaben		
	der Grubenabteilung	des Maschinenbetriebes	Wirkliche
Oktober	8 250	6 140	(7 540)
November . . .	8 650	6 330	(7 250)
Dezember . . .	9 370	6 410	(7 680)
Januar.	10 500	6 770	(8 350)
Februar	10 340	6 410	(7 570)
März.	6 750	6 490	(7 640)
April.	8 240	6 380	(7 240)
Mai	7 240	6 840	6 800
Juni	6 100	6 580	6 000
Juli	6 290	6 770	6 080
August	6 730	6 830	6 620

von den beiden Betrieben getrennt berechneten Kohlenmengen wieder und zeigt, wie außerordentlich verschieden die beiden Werte sind. Nach Inbetriebnahme der Bekohlungsanlage, die im Februar erfolgte, sich jedoch bis Anfang Mai hinzog, wurde die Übereinstimmung besser. Die Zählung der von der Bekohlungsanlage angefahrenen Kohlenmenge, die ab Mai ca. 85 % des verstochten Brennstoffes betrug, geschah auf Seiten des Maschinenbetriebes durch zwei einander kontrollierende automatische Wagenzähler, von denen der eine in der Lieferung der Elektrohängebahn inbegriffen, der andere aus einem vorhandenen Hubzähler hergestellt war. Die Grubenabteilung hatte ihrerseits den die Füllung der Wagen besorgenden Arbeiter mit der fortlaufenden Zählung beauftragt.

Da der Verfasser auf die geschilderten Zählungen angewiesen war, so mußte er sich damit begnügen, den Inhalt einer größeren Anzahl Kippen, Kasten und Elektrohängebahnwagen abzuwägen, um wenigstens bei der Einsetzung

der Gewichte eine erhebliche Ungenauigkeit zu vermeiden. Eine eigene Zählung wäre um so schwieriger und kostspieliger gewesen, als dem Kesselhause die verschiedensten Kohlensorten, wie Staub, Schieferkohle, unreine Förderung etc., angefahren wurde und zwar nicht allein aus den Separationen, sondern z. T. direkt vom Schachte her oder von der Verladestelle.

Wegen ihrer außerordentlich großen Abweichung von einander mußte auf die Verwertung der bis einschließlich April erfolgten Zählungen verzichtet werden. Für die Monate Mai bis August ergaben sich dann nach Einsetzen der Gewichte die gleichfalls in Zahlentafel 1 wiedergegebenen Werte, die von den Angaben der Grubenabteilung um 3,3 %, von denen des Maschinenbetriebes um 5,8 % abweichen. Zugrunde gelegt wurde die Zählung des Maschinenbetriebes, die infolge der beiden automatischen Wagenzähler als die zuverlässigere angesehen werden muß.

Die Feststellung der Kohlenmengen, soweit sie nicht durch die Elektrohängebahn angefahren wurde, geschah für die Flammrohrkesselanlage und die Batteriekesselanlage getrennt. Dies war in einfacher Weise dadurch möglich, daß jede Anlage ihren eigenen Kesselwärter hatte, der den Verbrauch registrierte. Um nun auch die von der Bekohlungsanlage den beiden Anlagen zugeführten Mengen getrennt von einander zu erhalten, wurden die Wagen einige Stunden lang zunächst in die eine, dann in die andere Anlage dirigiert und nach Umstellung der die Auslösung der Wagen hervorrufenden Katze jedesmal die Zähler abgelesen. Man kam dadurch in die Lage, für die beiden Anlagen nach Ermittelung der weiteren Größen, wie Heizwert des Brennstoffes, Menge und Temperatur des verspeisten Wassers und Wärmeinhalt pro kg des erzeugten Dampfes, den Wirkungsgrad getrennt herauszurechnen. Dieser Wirkungsgrad bildete dann den Ausgangspunkt, von dem aus der Kohlenverbrauch der übrigen Monate unter Zugrundelegung eines unteren Heizwertes von 6000 W.E.

rückwärts berechnet werden konnte. Als Mittelwert ergab sich für die Monate Mai-August, wie aus Zahlentafel 3 und 4 ersichtlich ist, der Wirkungsgrad der Flammrohrkesselanlage $\eta = 0{,}586$ bei einer Anstrengung von 14,8 kg Normaldampf pro qm Heizfläche, der Wirkungsgrad der Batteriekesselanlage $\eta = 0{,}465$ bei einer Anstrengung von 23,5 kg pro qm Heizfläche. Da die Anstrengungen der Vormonate nicht unerheblich von diesen Werten abwichen, so drängte sich die Frage auf, in welcher Weise man diesem Umstande bei dem Einsetzen des Wirkungsgrades Rechnung tragen sollte. Leider liegen exakte Versuche, welche die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Kesselleistung aufklären sollen, zur Zeit nicht vor, so daß man lediglich auf Mutmaßungen angewiesen ist. Die Verluste setzen sich, abgesehen von der unbeträchtlichen Luftansaugearbeit, aus Strahlungs-, Herd- und Essenverlusten zusammen. Die Strahlungsverluste werden ihre absolute Größe bei allen Belastungen beibehalten, da sie lediglich von der Temperatur abhängen. Ihr prozentualer Betrag nimmt also bei steigender Leistung geringere Werte an. Die Essenverluste werden offenbar größer werden, da die Geschwindigkeit der Heizgase wächst und ihre Wärmeabgabe infolgedessen geringer, ihre Verbrennung unvollkommener werden muß. Auch von den Herdrückständen kann man wohl ohne weiteres annehmen, daß sie bei ruhigem Betriebe infolge vollkommenerer Verbrennung kleiner sind als bei forziertem. Ob nun der verschlechternde Einfluß der letztgenannten Verluste auf den Wirkungsgrad den der Strahlung überwiegt, hängt von der absoluten Größe der einzelnen Werte ab, und die Wahrscheinlichkeit spricht dafür, daß oberhalb der normalen Anstrengung der Wirkungsgrad fällt. Denn die Strahlungsverluste stehen in allen Fällen den anderen an Bedeutung nach. Da jedoch positive Ergebnisse wie erwähnt nicht vorliegen, auch ein im Jahre 1911 vom Überwachungsverein vorgenommener Verdampfungsversuch an Kesseln der Batteriekesselanlage keine deutlichen Auf-

schlüsse lieferte, so wurde der für die Monate Mai bis August ermittelte Wirkungsgrad auch für höhere Belastungen beibehalten. Aus ihm und den verdampften Speisewassermengen errechnete sich der Verbrauch an Brennstoff für die Monate Oktober bis April. Derselbe ist in Zahlentafel 1 in Klammern wiedergegeben. Die so ermittelten Zahlen weichen von den Angaben der Grubenabteilung im Durchschnitt um 14 % nach der einen Richtung, von den Angaben des Maschinenbetriebes um 19 % nach der anderen ab.

Verfeuert wurde zum weitaus überwiegenden Teile trockener Staub und schieferhaltige Kohle. Der Staub kam teilweise direkt aus den Siebereien, teilweise hatte er bereits längere Zeit auf der Halde gelagert und war infolgedessen verwittert. Die Schieferkohle war auf den Transportbändern der Separationen ausgeklaubt worden. Von diesen beiden Kohlensorten wurden täglich je zwei Schaufeln abgesondert und in abgedeckten Behältern aufbewahrt. Die im Laufe eines Monats gesammelte Menge wurde in üblicher Weise zerteilt und davon eine Probe genommen, die von mir im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Breslau auf ihren Heizwert, Feuchtigkeitsgehalt und Aschengehalt untersucht wurde. Zahlentafel 2 zeigt eine Zusammenstellung der ge-

Zahlentafel 2.

	Staubkohle			Schieferkohle		
	Heizwert H_0	Feuchtigkeit %	Asche %	Heizwert H_0	Feuchtigkeit %	Asche %
Januar .	6000	5,1	15,5	6290	3,4	13,6
Februar .	6170	4,1	14,8	6230	2,3	12,9
März . .	6250	—	14,8	6200	—	12,7
April . .	5980	5,9	18,0	6160	4,7	—
Mai . . .	6150	6,6	14,0	6460	5,7	10,5
Juni. . .	5950	5,4	17,8	6470	3,0	10,3
Juli . . .	6150	4,5	16,0	6500	4,6	11,2
August .	5860	7,0	16,8	6320	6,3	12,5

fundenen Werte. Ferner wurden an den Augustproben Elementaranalysen vorgenommen. Dabei ergab sich für

Schieferkohle	Staubkohle
64,1 % C	62,7 % C
3,96 % H	3,39 % H
1,14 % S	1,10 % S

Zur Messung des Kesselspeisewassers waren in der Batteriekesselanlage drei, in der Flammrohrkesselanlage zwei Siemensche Flügelrad-Wassermesser eingebaut. Dieselben wurden von mir in der Mitte des Versuchsjahres im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Breslau auf einem eigens dazu hergerichteten Versuchsstande geeicht. Hierbei wurden die Betriebsverhältnisse in Bezug auf Druck, Temperatur und durchschnittliche Wassermenge hergestellt. Die Wasserförderung erfolgte gleichfalls, wie die in der Betriebsanlage, durch Kolbenpumpe. Es ergaben sich folgende Korrektionen:

Wassermesser der	
Batteriekesselanlage	Flammrohrkesselanlage
— 6,8 %	+ 8,6 %
— 3,2 %	— 6,6 %
+ 5,2 %	

Die Genauigkeit ließ, wie ersichtlich, zu wünschen übrig. Die Wassermesser waren mehrere Jahre lang in stark verunreinigtem Speisewasser gelaufen. Diese Verunreinigung bestand in Öl, Flugasche und Teilen von Putzwolle; sie verursachte mehrfach ein Versagen der Instrumente, so daß bedauerlicher Weise von den 336 Tagesverbräuchen der Untersuchungszeit bei der Flammrohrkesselanlage nur 157, bei der Batteriekesselanlage nur 218 Werte brauchbar waren, die übrigen mußten als unzuverlässig ausgeschieden werden. In fast allen Fällen ließ sich der Defekt durch eine gründliche Reinigung der Instrumente, die allerdings nur Sonntags vorgenommen werden konnte, beheben. Die Wassermesser wurden täglich früh 6 Uhr von einem Maschinensteiger oder

seinem Stellvertreter abgelesen. An den Differenzen je zweier aufeinanderfolgender Ablesungen wurden obige Korrektionen angebracht, sowie ferner davon das Volumen des Wasserraumes frisch angefeuerter Kessel abgezogen. Die so erhaltenen Tagesdampfverbräuche zeigten ein recht erhebliches Schwanken, auch an den Wochentagen, an denen die geleisteten Arbeiten nur geringe Bewegungen aufwiesen. Die Ursache liegt in unpünktlicher oder zuweilen falscher Ablesung; da es sich aber um Zählerablesungen handelt, deren Differenzen fortlaufend gebildet wurden, so gleichen sich die Fehler gegenseitig aus.

Die fehlenden Werte mußten nun ergänzt werden, einmal um ein vollständiges Bild des ganzen Jahresverlaufes zu erhalten, dann auch um aus ihnen die Kohlenverbräuche der Monate Oktober bis April zu ermitteln, in denen wie ausgeführt genaue Zählungen nicht zu erreichen waren. Man untersuchte zu diesem Zwecke die erhaltenen Tagesdampfverbräuche auf ihre Beziehung zu den jeweilig geleisteten Schacht-PS.-Stunden, Kilowattstunden, zur Kompressor-

Zahlen-

Batterie-

	Speisewasser		Kohle		Dampf	
	t	°C.	t	Millionen W.E.	°C.	Millionen W.E.
Oktober . . .	21 100	40	5 590	33 500	340	15 900
November . .	19 500	39	5 070	30 400	327	14 500
Dezember . .	20 400	38	5 350	32 100	345	15 300
Januar . . .	22 600	37	5 950	35 700	343	16 950
Februar . . .	20 000	36	5 290	31 700	342	15 050
März	20 300	36	5 310	31 900	333	15 200
April	19 200	34	5 020	30 100	332	14 300
Mai	18 200	35	4 500	27 000	331	13 550
Juni	16 900	37	4 420	26 300	330	12 600
Juli	16 100	37	4 240	25 900	331	12 000
August . . .	16 800	37	4 610	27 100	330	12 450

arbeit und zur herrschenden Tagestemperatur, welch letztere für die Mengen des zu Heizzwecken entnommenen Dampfes von ausschlaggebender Bedeutung war. Da diese Werte mit großer Genauigkeit für jeden Tag des Jahres ermittelt wurden, so konnten auf dieser Grundlage die fehlenden Dampfmengen ergänzt werden. Eine ausführliche Darlegung des Rechnungsverfahrens folgt später. Hier sei nur die errechnete Monatsdampferzeugung der beiden Kesselanlagen wiedergegeben. Siehe Zahlentafel 3 und 4.

Für die Ermittelung des Wirkungsgrades ohne Belang waren die Schwankungen der Dampfspannung. Man konnte sich daher damit begnügen, das registrierende Manometer, das jede der Kesselanlagen besaß, zu eichen und einige wenige Streifen auszuwerten. Dabei ergab sich als mittlerer Überdruck der Batteriekesselanlage 9,00 Atm., mittlerer Überdruck der Flammrohrkesselanlage 6,33 Atm. Hingegen mußte der Überhitzungstemperatur der Batteriekessel größere Beachtung geschenkt werden. Da die Beobachtung an den Kesseln selbst infolge der Lage der Thermometer unbequem

tafel 3.

kesselanlage.

η	Frisch angefeuerte Kessel	Luft °C	Durchschnittliche Heizfläche	Durchschnittliche Rostfläche	$\frac{B}{H}$	$\frac{D}{B}$	$\frac{B}{R}$	$\frac{D}{H}$
(0,465)	7	+ 10,5	1 056	51,4	7,12	—	146	30,0
„	8	+ 6,0	„	„	6,67	—	137	28,3
„	9	+ 2,0	„	„	6,82	—	140	29,0
„	8	— 1,0	„	„	7,58	—	155	32,0
„	6	+ 1,0	„	„	7,20	—	148	30,5
„	5	+ 3,0	1 122	54,6	6,36	—	130	27,0
„	6	+ 6,5	1 090	53,1	6,40	—	131	27,3
0,490	8	+ 12,5	1 126	54,8	5,36	4,52	110	24 2
0,468	3	+ 19,0	1 120	54,5	5,49	4,25	112	23,3
0,453	10	+ 19,5	1 056	51,4	5,40	4,21	111	22,7
0,450	5	+ 17,5	„	„	5,86	4,05	120	23,7

Zahlen-

Flammrohr-

	Speisewasser		Kohle		Dampf	
	t	°C.	t	Millionen W.E.	p Atm. Ü.	Millionen W.E.
Oktober . . .	10 700	40	1 950	11 700	6,33	7 080
November. . .	11 600	39	2 180	12 700	„	7 680
Dezember . . .	12 800	38	2 330	14 000	„	8 480
Januar	13 200	37	2 400	14 400	„	8 740
Februar. . . .	12 500	36	2 280	13 700	„	8 290
März	12 800	36	2 330	14 000	„	8 480
April	12 100	34	2 220	13 300	„	8 010
Mai	11 400	35	2 300	13 600	„	7 410
Juni	9 100	37	1 580	9 200	„	6 020
Juli	10 300	37	1 840	10 900	„	6 720
August	10 800	37	2 010	11 400	„	7 150

war, man auch im Interesse der Genauigkeit der Ablesungen bestrebt sein mußte, den Arbeitern die einzelnen Beobachtungen soviel als möglich zu erleichtern, so vereinfachte man die Messungen in der Weise, daß man nicht mehr an jedem einzelnen Kessel, sondern an einer Dampfleitung ablaß, die von dem weitaus größten Teil des erzeugten Dampfes durchflossen war. Die Unterhaltung einer so großen Anzahl von Thermometern, wie sie im anderen Falle erforderlich gewesen wäre, wäre auch nicht ohne unbedeutende Kosten gewesen. So baute man in die Dampfleitung, die zu den Turbinen und stehenden Maschinen der Zentrale führte, eine Thermometerhülse ein und konnte daselbst ohne Unbequemlichkeit viermal des Tages die Temperatur messen. Die betreffende Leitung führte ca. 60 bis 80 % des in der Batteriekesselanlage erzeugten Dampfes, so daß man aus der Temperatur dieses Dampfstromes auf die Überhitzungstemperatur des größeren Teiles der in Betrieb befindlichen Kessel schließen konnte. Die Dampfverteilung ist aus Figur 8 zu ersehen. Der Wärmeverlust der Dampfleitung von den Kesseln bis zur Meßstelle

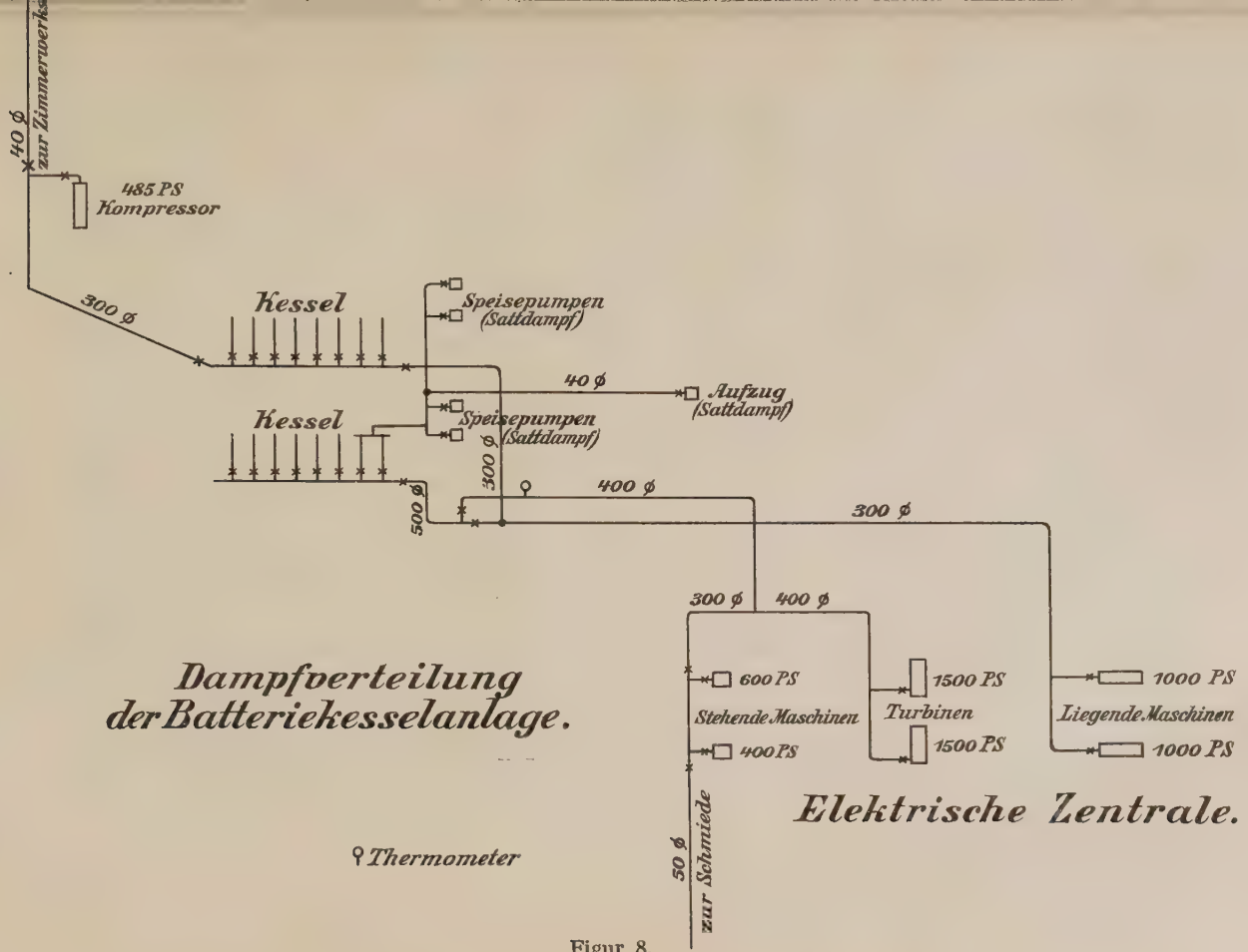
tafel 4.
kesselanlage.

η	Frisch angefeuerte Kessel	Luft ^{0}C.	Durchschnittliche Heizfläche	Durchschnittliche Rostfläche	$\frac{B}{H}$	$\frac{D}{B}$	$\frac{B}{R}$	$\frac{D}{H}$
(0,586)	5	+ 10,5	960	31,7	2,73	—	83	14,7
„	5	+ 6,0	„	„	3,16	—	96	16,4
„	2	+ 2,0	„	„	3,26	—	99	17,5
„	5	— 1,0	„	„	3,36	—	102	18,1
„	3	+ 1,0	„	„	3,42	—	104	18,3
„	4	+ 3,0	„	„	3,26	—	99	17,5
„	3	+ 6,5	890	29,3	3,46	—	105	18,4
0,530	3	+ 12,5	924	30,5	3,35	4,86	102	16,3
0,630	4	+ 19,0	960	31,7	2,28	5,63	70	12,9
0,595	2	+ 19,5	„	„	2,57	5,48	78	14,1
0,606	3	+ 17,5	905	29,9	2,99	5,25	90	15,7

wurde durch Versuche ermittelt und unabhängig hiervon aus den Leitungsdimensionen und dem Temperaturgefälle berechnet.*) Beide Werte stimmten bis auf 5 ^{0} C. bei einem gesamten Temperaturabfall von durchschnittlich 40 ^{0} C. überein. An den abgelesenen Werten wurde außer dieser Berichtigung noch eine konstante Fadenkorrektion angebracht. Die Durchschnittstemperaturen eines Monates sind aus Zahlentafel 3 ersichtlich.

Der auf die beschriebene Weise errechnete Wirkungsgrad bezog sich auf die von der Kesselanlage erzeugten Dampfmengen. Wünscht man die nutzbar abgegebene Energie zu erhalten, so sind noch die Wärmeverluste der Leitungen innerhalb des Kesselhauses, die Abblasverluste der Sicherheitsventile und der Dampfverbrauch der Kesselspeisepumpen in Rücksicht zu ziehen. Da nun die Wärmeverluste sich nicht allein in einer Änderung der Dampfmenge, sondern besonders des Dampfzustandes bemerkbar machen,

*) Eberle, Forschungsheft 78.


40 ø
zur Zimmerwerkstätte
485 PS
Kompressor
300 ø
Kessel
Speisepumpen
(Sattdampf)
40 ø
Aufzug
(Sattdampf)
Kessel
Speisepumpen
(Sattdampf)
300 ø
500 ø
400 ø
300 ø
300 ø
400 ø
600 PS
Stehende Maschinen
400 PS
1500 PS
Turbinen
1500 PS
1000 PS
Liegende Maschinen
1000 PS
Dampfverteilung
der Batteriekesselanlage.
Elektrische Zentrale.
Thermometer
50 ø
zur Schmiede

Figur 8.

und in derselben Weise an den Leitungen zu den Verbrauchsstellen auftreten, so mögen sie zusammenhängend bei der Dampfverteilung berücksichtigt werden. Hier sei nur noch der Abblasverlust und der Dampfverbrauch der Kesselspeisung behandelt. Bei einer Messung des ersteren mußten die tagsüber auftretenden Schwankungen der Dampfspannung zur Wirkung kommen, wenn man die normale Höhe des Verlustes ermitteln wollte. Es hätte deshalb keinen Zweck gehabt, etwa einen Kessel von der Gesamtanlage abzutrennen und bei angehobenem Ventile den Verbrauch zu bestimmen; nicht so sehr dem momentan auftretenden Verluste eines Kessels, sondern der im Verlaufe von 24 Stunden von sämtlichen Kesseln der Anlage abgeblasenen Dampfmenge mußte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine genaue Meßmethode wäre hierbei außerordentlich schwierig gewesen. Man begnügte sich daher in Rücksicht auf den prozentual geringen Betrag des Verlustes mit einer rohen Beobachtungsweise. Es wurde an einem der Kessel die Dampfmenge bei maximaler Stärke des Blasens durch Hallwachsmesser bestimmt und sodann elf Stunden lang die Blasstärke sämtlicher Kessel nach dem Augenschein abgeschätzt und in Prozenten der maximalen Blasstärke notiert. Dabei ergab sich als maximaler Dampfdurchgang eines Ventiles 0,343 kg/Sel. trockenen Dampfes. Der gesamte Blasverlust der Batteriekesselanlage zeigte sich äquivalent einem während 11,6 Stunden, der der Flammrohrkesselanlage einem während 8,4 Stunden auftretenden Maximal-Abblasverlust eines Ventiles. Wenn man in Rücksicht auf die Dampfnässe noch 6 % zuschlägt, so kommt man damit auf einen monatlichen Verlust von $11{,}6 \cdot 1{,}06 \cdot 30 \cdot 3600 \cdot 0{,}343 = 455$ t an der Batterie-, $8{,}4 \cdot 1{,}06 \cdot 30 \cdot 3600 \cdot 0{,}343 = 329$ t an der Flammrohrkesselanlage. Je nach der Menge des verspeisten Kesselwassers erniedrigt sich dadurch der Gesamtwirkungsgrad der einen Anlage um 2,2 bis 2,8 %, der der anderen um 2,5 bis 3,6 %.

Den Dampfverbrauch der Speisepumpen versuchte man aus den Indikatordiagrammen zu ermitteln. Die Diagramme der die Batteriekesselanlage bedienenden Pumpe erwiesen sich jedoch als gänzlich unbrauchbar und auch die der Flammrohrkesselanlage zeigten offenbare Undichtigkeiten. Ich erwähne dies, um schon bei dieser Gelegenheit darzutun, in wie hohem Maße der Dampfbetrieb als solcher zu Verlusten Anlaß gibt, welche bei kurzzeitigen Versuchen selten zu Tage treten, jedoch im regulären Betriebe kaum zu vermeiden und in ihrer Größe nicht zu vernachlässigen sind. Wollte man ernstlich gewillt sein, diese Verluste dauernd zu überwachen und ev. sofort zu beheben, so würde dies nicht nur einen Mehraufwand an Arbeiterpersonal, sondern besonders auch an technischen Angestellten bedingen.

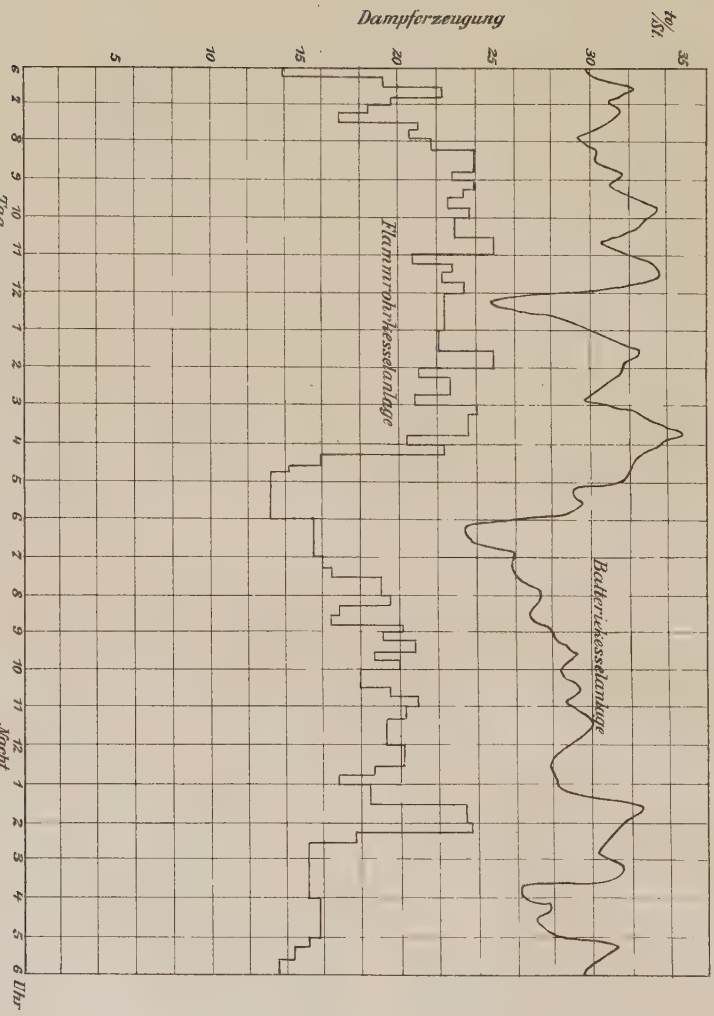
Soweit der Verbrauch der Kesselspeisung in der Flammrohrkesselanlage aus den Diagrammen ermittelt werden konnte, ergab sich derselbe ohne Undichtigkeits- und Kondensationsverlusten zu 26,8 kg/PS.-Stunde, bezogen auf die effektive Förderleistung. Mit diesem Werte wurde auch für die Batteriekesselanlage gerechnet. Schlägt man in Rücksicht auf die Verluste 50 % auf, so bekommt man den Verbrauch in Batteriekesselanlage 15,0 kg/t verspeistes Wasser, Flammrohrkesselanlage 10,4 kg/t verspeistes Wasser. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlagen verschlechtert sich damit um weitere 1,5 bezw. 1,0 %.

Im übrigen wurde an jedem Kessel das Datum des Anfeuerns und Ablöschens notiert. Man erhielt dadurch die jeweilig verdampfende Heizfläche, die Reservebereitschaft und den Ausnutzungsfaktor der Gesamtanlage.

II. Die Batteriekesselanlage.

In Zahlentafel 3 bezeichnet B die Brennstoffmenge, D die auf Dampf von 100° C. und 1 Atm. und Speisewasser von 0° C. bezogene Dampfmenge, H die durchschnittliche verdampfende Heizfläche, die sich aus der Zahl der im Betriebe

befindlichen Kessel, multipliziert mit der Kesselheizfläche errechnet, R die entsprechende Rostfläche. Das Verhältnis $\frac{D}{B}$ wurde für die Monate Oktober bis April nicht besonders aufgeführt, da dasselbe nur einen anderen Ausdruck für den Wirkungsgrad darstellt, der hier, wie erwähnt, der Größe der folgenden Monate entsprechend eingesetzt werden mußte. Die Tabelle zeigt, wie der Monatsdurchschnitt der Kesselanstrengung zwischen 22,7 kg/qm Heizfläche im Juli und 32,0 kg/qm im Januar schwankt. Die durchschnittliche Dampferzeugung eines Wochentages im Januar ergibt sich unter Berücksichtigung von 6 Sonn- und Feiertagen, an denen nur ca. 500 t gegenüber 800 t an Wochentagen verdampft wurden, zu 34,5 kg/qm. Um hieraus auf die größte beispielsweise eine halbe Stunde lang auftretende Anstrengung eines solchen Tages zu schließen, muß das Verhältnis $\frac{\text{Maximale Dauerleistung}}{\text{Mittlere Leistung}}$ bekannt sein. Es wurde daher in Figur 9 eine Kurve konstruiert, die den Verlauf der Dampferzeugung über 24 Stunden hin darstellen soll. Zu diesem Zwecke wurde am 19. Februar der Dampfverbrauch der Turbinen der Centrale, welcher ca. 50 % der Dampferzeugung der Batteriekesselanlage ausmachte, fortlaufend in Intervallen von 20 Minuten gemessen. Ferner wurde die elektrische Leistung einer 1000 PS.-Kolbenmaschine fortlaufend notiert, so daß man durch Multiplikation mit dem spez. Dampfverbrauch den Verlauf ihres Dampfkonsums erhielt. Von den übrigen an diese Kesselanlage angeschlossenen Maschinen wurden lediglich die während des ganzen Tages geleisteten Arbeiten festgestellt, der Tagesverlauf dieser Arbeiten und der spez. Verbrauch jedoch an anderen Tagen bestimmt und auf die Arbeiten des 19. Februar umgerechnet. Die so erhaltenen Einzelkurven wurden addiert und geben in ihrer Summe zwar nicht den tatsächlichen Verbrauch eines bestimmten Tages wieder, wohl aber ein anschauliches Bild von den nor-



Figur 9. Dampferzeugung eines Werktages.

malen Schwankungen der Dampferzeugung. Die maximale Daueranstrengung ergibt sich hieraus zu $\frac{34,2}{29,75}$ 34,5=39,6 kg/qm. Die Maximalanstrengung einzelner Kessel liegt noch höher, da nicht sämtliche Kessel an der Dampferzeugung in gleicher Weise partizipieren.

Diese sich auf den Januar beziehenden Werte müssen als außerordentlich hoch bezeichnet werden. Im allgemeinen bezeichnet man bei einer guten Kohle von 7500 W.E. und der gleichen Kesseltype bereits einen Betrieb mit 22 kg/qm als „angestrengt". Der Wirtschaftstechniker wird allerdings diejenige Leistung als die günstigste verstehen, bei welcher die Gesamtkosten der erzeugten Tonne Dampf am kleinsten werden. Für ihn sind also die Gesichtspunkte nicht die gleichen, die für den Kesselbauer maßgebend sind. Seine Normierung ist ganz und gar von den speziellen Bedingungen der betreffenden Kesselanlage abhängig, als da sind Grundstückskosten, Zinsfuß, Brennstoffpreisen und Arbeitslöhnen. Sie wird für ein und denselben Kessel verschieden ausfallen, je nachdem derselbe z. B. mit billigem oder teurem Brennstoff beschickt wird, wenn man auch bestrebt sein muß, einen aufzustellenden Kessel durch bestimmte Wahl des Verhältnisses $\frac{H}{R}$ und dergl. seinen individuellen Bedingungen anzupassen. Die Frage, ob die gefundenen Anstrengungen zu rechtfertigen sind, ist mithin keine rein technische mehr, sondern eine wirtschaftliche. Die Berechnung der Betriebskosten, welche auf einen späteren Abschnitt verschoben werden muß, zeigt jedoch, daß im vorliegenden Falle selbst bei einem so niedrigen Einheitspreise wie 3,50 M/t die Brennstoffkosten ausschlaggebend sind. Es wäre daher von höchster Bedeutung, nachzuprüfen, wie hoch sich der Wirkungsgrad bei den verschiedenen Belastungen stellt. Die Monate Mai bis August, in denen zuverlässige Kohlenmessungen stattfanden, geben hierüber leider keine Auskunft, da während derselben die

durchschnittliche Anstrengung eines Monates sich nur um 6,5 % änderte, eine Zahl, welche viel zu gering ist, als daß sie bei dem schwankenden Bestande der Bunker, in die die gezählten Elektrohängebahnwagen entleerten, ihren Ausdruck in einer Veränderung des Wirkungsgrades finden könnte. Ich greife deshalb auf Verdampfungsversuche zurück, die im September 1911 seitens des oberschlesischen Überwachungsvereins an zwei Kesseln der Batteriekesselanlage ausgeführt wurden. Diese Versuche, deren Hauptergebnisse in Zahlentafel 5 wiedergegeben sind, sollten die

Zahlentafel 5.

Versuch Nr.	I	II	III	IV
Art der Feuerung	Planrost		Kettenrost Placzek	
Brennstoff	Halden-Staubkohle		Frische Staubkohle	Erbs-kohle
Heizwert	5665	5680	5850	6110
Zusammensetzung: Kohlenstoff %	61,60	60,78	62,39	64,40
Wasserstoff %	3,85	3,92	4,34	4,70
Schwefel %	1,08	1,04	0,92	1,02
Asche %	13,23	14,46	10,47	9,90
Wasser %	8,93	9,00	9,27	6,73
Speisewasser/qm Heizfläche, bez. auf Wasser von 0 ° und Dampf von 100 °	26,1	47,2	52,1	28,4
Temperatur der Heizgase hinter dem Kessel ° C.	325	413	406	315
Luftüberschuß	1,91	1,80	1,54	1,47
Verdampfung: kg Dampf/kg Kohle, bez. auf Wasser von 0 ° und Dampf von 100 ° C.	4,29	4,67	5,48	6,42
Wirkungsgrad η %	48,5	52,6	59,9	67,3
Essenverluste %	27,4	28,9	23,1	18,3
Verlust in den Herdrückständen %	14,7	10,6	10,4	3,2
Verlust durch Strahlung, Leitung %	9,4	7,9	6,6	11,2

Zweckmäßigkeit der Einführung von Wanderrosten untersuchen. Die Verluste I und IV fanden bei normaler Belastung statt, II und III sollten Höchstleistungsversuche darstellen. Leider sind die Versuche insofern nicht ohne weiteres mit einander vergleichbar, als es versäumt wurde, den Kettenrost mit der gleichen Halden-Staubkohle zu beschicken. Während nun der mit Kettenrost ausgestattete Kessel mit fallender Anstrengung eine Zunahme des Wirkungsgrades von 59,9 auf 67,3 d. h. um 16 % zeigt, s i n k t merkwürdigerweise bei Handbeschickung die Wärmeausnutzung von 52,6 auf 48,5, d. h. um 8 %. Diese Erscheinung kann nur damit erklärt werden, daß die unkontrollierbaren Einflüsse auf die Feuerung im letzteren Falle sehr groß sind. Die Geschicklichkeit des Heizers spielt hier eine derartige Rolle, daß der Vorteil einer geringeren Kesselanstrengung durch eine nicht vollkommen gleichwertige Bedienung in sein Gegenteil verkehrt werden kann. Davon jedoch abgesehen, dürften die Versuche wohl zu der Annahme berechtigen, daß bei derartigen Belastungen, wie sie hier in Frage kommen, eine Verminderung der Kesselanstrengung tatsächlich eine sehr erhebliche Besserung des Wirkungsgrades mitbringt.

Wenn man nun den vom Überwachungsverein gefundenen Wirkungsgrad von i. M. 50,6 % mit dem für die Monate Mai bis August berechneten der Kesselanlagen vergleicht, so ergibt sich ein Unterschied von 8 % zu Ungunsten des letzteren. Dieser Betrag erscheint noch etwas größer, wenn man bedenkt, daß bei den beiden in Frage kommenden Versuchen des Vereins die sehr schlackenhaltige Haldenstaubkohle verfeuert wurde, während bei unseren Messungen auch große Mengen frischen Staubes und Schieferkohle zur Verbrennung kamen. Die Differenz ist jedoch mit zwei Ursachen zu erklären. Einmal war der zu untersuchende Kessel vorher in einen tadellosen Zustand gebracht, was in Bezug auf die gesamte Kesselanlage in keinem Momente der Fall war. Namentlich die starken Schlammabsetzungen über den

Feuerplatten, die im Laufe der Betriebszeit infolge unreinen Speisewassers regelmäßig auftraten, mußten zu einer Verschlechterung des Wärmeüberganges führen. Und ferner ist erfahrungsgemäß bei einem kurzzeitigen Versuche die Wartung eine viel sorgfältigere als im täglichen Betriebe, ein Punkt, der gerade bei Kessel mit Handbeschickung von größter Bedeutung ist. Auf diesen Unterschied zwischen den Resultaten sogenannter Paradeversuche und betriebsmäßigen Ergebnissen wird noch wiederholt hingewiesen werden.

Die Verluste beim Anfeuern frischer Kessel sind ohne erheblichen Einfluß auf den Wirkungsgrad. Man pflegt den Anheizverlust eines Kessels den Abkühlungsverlusten dreier Tage gleichzusetzen. Letztere betragen hier ca. 10 % der zugeführten Wärmemenge. Im Januar, wo acht Kessel frisch angefeuert wurden, ergibt sich dann die dazu erforderliche Kohlenmenge zu $8 \cdot 0{,}1 \cdot 3 \frac{5950}{31} = 46$ t $= 0{,}77$ %.

Die Betriebskontrolle hatte nun für die nicht mehr außergewöhnlich hohe Anstrengung von 23,5 kg/qm das recht geringe $\eta = 0{,}465$ ergeben. Die Ursache davon dürfte in erster Linie darin zu finden sein, daß auch noch diese Belastung bei dem geringwertigen Brennstoffe zu hoch ist. Die Untersuchungen von Bütow und Dobbelstein *) haben ergeben, daß minderwertige Brennstoffe wirtschaftlich nur verfeuert werden, wenn eine genügende Anzahl Kessel zur Verfügung steht, um die Anstrengung gering halten zu können. Es hat sich herausgestellt, daß bei gleicher Kesselleistung die Ausnutzung der Wärme des minderwertigeren Brennstoffes schlechter ist als die des hochwertigeren.

Einen Teil der Schuld an dem ungünstigen Wirkungsgrade trägt auch das unreine Speisewasser, das, wie erwähnt, Anlaß zur Schlammbildung gab. Die dadurch verursachte Verschlechterung des Wärmeüberganges muß sehr bedeutend

*) Glückauf, 1910, 1911.

gewesen sein, denn die Feuerplatten wiesen fast nach jeder Betriebsperiode starke Ausbeulungen auf. In dem einen Falle wurde sogar das Kesselblech beim Abklopfen mit einem spitzen Hammer durchschlagen und es ergab sich an dieser Stelle eine Materialstärke von wenig mehr als einem Millimeter.

Der bei den Versuchen des Überwachungsvereins gemessene Luftüberschuß entspricht den bei Kesseln mit Handbeschickung üblichen Werten. Eine Verringerung desselben, auch bei den später mit Wanderrost ausgestatteten, wird sich nur durch Aufstellung von Kontrollapparaten ermöglichen lassen, die fortlaufend den Kohlensäuregehalt der Abgase registrieren und dadurch den Kesselwärter in Stand setzen, die Rauchschieber der jeweiligen Belastung entsprechend einzustellen. Daß man den Rauchgasen durch Einbau von Ekonomisern noch sehr beträchtliche Wärmemengen entziehen könnte, braucht nicht erst erwähnt zu werden.

Die genannten Versuche haben nun dazu geführt, daß gegen Ende des Versuchsjahres damit begonnen wurde, die Hälfte der vorhandenen Batteriekessel mit Kettenrosten auszustatten. Einer der Kessel, Nr. 16 in Zahlentafel 6, lief bereits ein Jahr lang probeweise mit einem Placzekschen Kettenroste. Dabei wurde an der Speisung beobachtet, daß der Kessel sich in geringerem Maße an der Dampferzeugung beteiligte als die übrigen Kessel. Auch kam es nicht selten und besonders bei der Verfeuerung von Staubkohle vor, daß das Feuer ausging. Diesem Umstande scheint seinerzeit seitens der Betriebsleitung nicht Beachtung geschenkt worden zu sein; denn sonst wäre bei den Vergleichsversuchen III und IV gleichfalls geringwertige Kohle verfeuert worden. Für eine Kohlenzeche ist es ja vom Standpunkte der Wirtschaftlichkeit selbstverständlich, daß sie danach trachten muß, ihre minderwertigsten Brennstoffe selbst zu verfeuern. Der Schwerpunkt der Versuche hatte also seinerzeit darin zu liegen,

zu ermitteln, ob ein Rost, dessen Vorzüge unter normalen Umständen unbestritten sind, sich auch für hohe Anstrengungen und geringwertigen Brennstoff eigne. Dieser Beweis ist durch die Versuche nicht erbracht worden. Da aber die Wurzel alles Übels in der hohen Kesselanstrengung lag, die sich nicht allein in dem schlechten Wirkungsgrade äußerte, sondern auch in einem häufigen starken Abfalle der Dampfspannung, sowie in hohen Reparaturkosten, so hätte dieser der Ausgangspunkt von Reformen sein müssen. Zu einer Erweiterung der bestehenden Anlagen wollte sich jedoch die Verwaltung in Ansehung des erforderlichen beträchtlichen Kapitalaufwandes nicht verstehen. Da nun gleichzeitig die Stromerzeugung der elektrischen Zentrale die Aufstellung eines neuen Aggregates verlangte und die vorhandene Kondensationsanlage ihren Zweck nur unvollkommen erfüllte, entschloß sich die Werksleitung auf mein Anraten, dem Projekt einer Abdampfturbinenanlage näher zu treten, durch die der Batteriekesselanlage ein bedeutender Teil der Belastung abgenommen und auf die schwach beanspruchte Flammrohrkesselanlage gelegt wurde. An diese waren, wie bereits ausgeführt, die Fördermaschinen, die Reserve-Dampfwasserhaltungen, die Dampfheizungen und einige untergeordnete Betriebe angeschlossen, während jene den weit größeren Bedarf der elektrischen Zentrale und des Kompressors decken mußte. Daß die Belastungen der beiden Anlagen so verschiedene waren, kam daher, daß in der ersten Zeit die Flammrohrkesselanlage als die ältere den ganzen, damals noch bescheidenen Dampfkonsum der Zeche zu decken hatte. Als dann um das Jahr 1898 die elektrische Stromversorgung einsetzte, erhielt diese ihre eigene Kesselanlage. In dem Maße nun, wie die Dampfwasserhaltungen, die Seilförderung unter Tage etc. stillgelegt und entsprechende elektrisch betriebene Anlagen an ihre Stelle gesetzt wurden, mußte die Belastung der Flammrohrkesselanlage auf die andere übergehen. Die verschiedene Ausnutzung der Anlagen zeigt sich auch besonders, wenn man die

Kesselanstrengung auf die tatsächlich vorhandenen Heizflächen bezieht. Als Mittelwert der ganzen Untersuchungszeit ergibt sich für die Batteriekesselanlage eine Anstrengung von 20,7 kg/qm gegenüber 10,8 kg/qm bei der Flammrohrkesselanlage.

Die Ausnutzung der einzelnen Kessel in Bezug auf die Zeit veranschaulicht die Zahlentafel 6 und 7. Sie beträgt in den beiden Anlagen durchschnittlich 74 und 61 %. Die beiden letzten Zahlen geben gleichzeitig ein Maß für die Reservebereitschaften an. Diese sind 26 und 39 %. Im allgemeinen dürfte es genügen, wenn $^1/_4$ der vorhandenen Kessel in Reserve und Reparatur steht. Bei dem schweren Betriebe der Batteriekesselanlage, der zu häufigen und meistens recht

Zahlentafel 6.

Betrieb der Batteriekesselanlage.

Kessel Nr.	Betriebszeit bezogen auf ein Jahr	Pausen bezogen auf ein Jahr	Größte Pause	Zahl der Pausen in 11 Monaten	Durchschnittliche Betriebszeit
	Tage	Tage	Tage		Tage
1	269	97	45	5	49
2	301	65	29	5	55
3	233	133	67	5	43
4	234	132	69	5	43
5	245	121	61	4	56
6	302	64	22	4	69
7	259	107	49	5	47
8	274	92	30	5	50
9	296	70	26	5	54
10	314	52	19	4	72
11	286	80	31	6	44
12	304	62	22	5	56
13	266	100	27	6	41
14	260	106	41	5	48
15	269	106	70	6	40
16	218	148	62	7	29
im Mittel	270	96	42	5,1	48

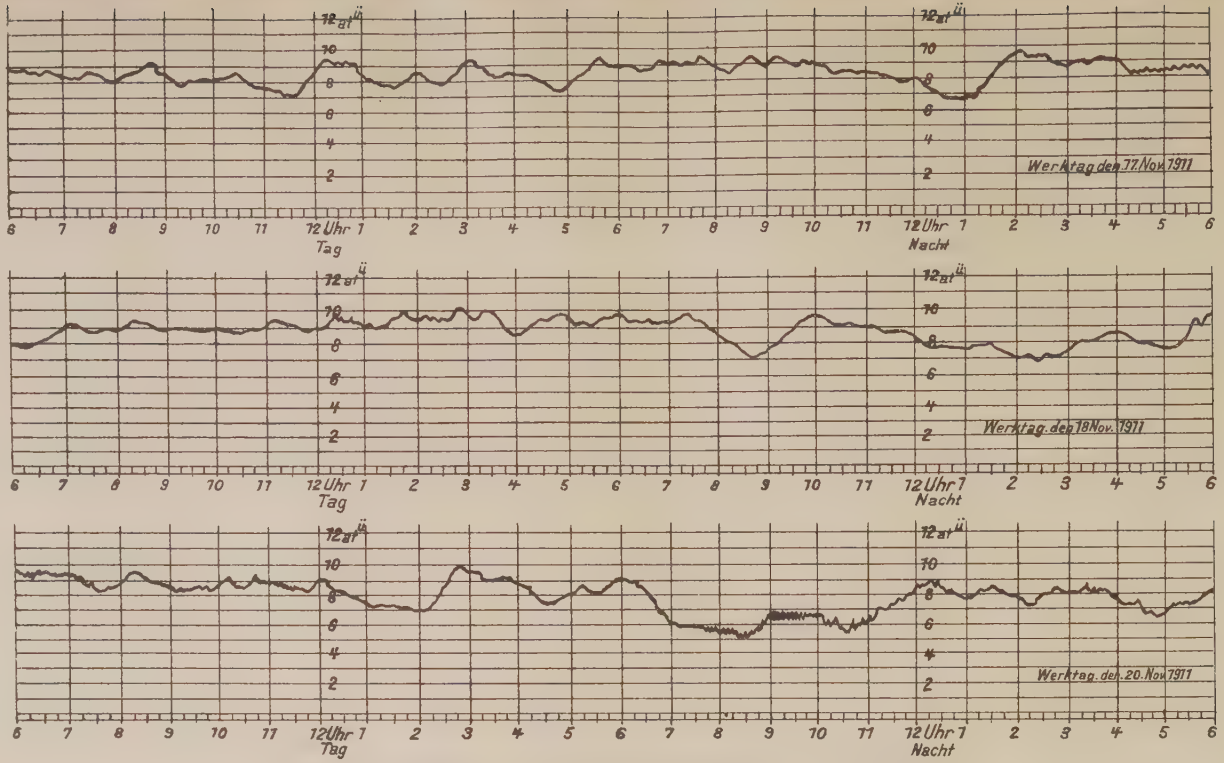
Zahlentafel 7.

Betrieb der Flammrohrkesselanlage.

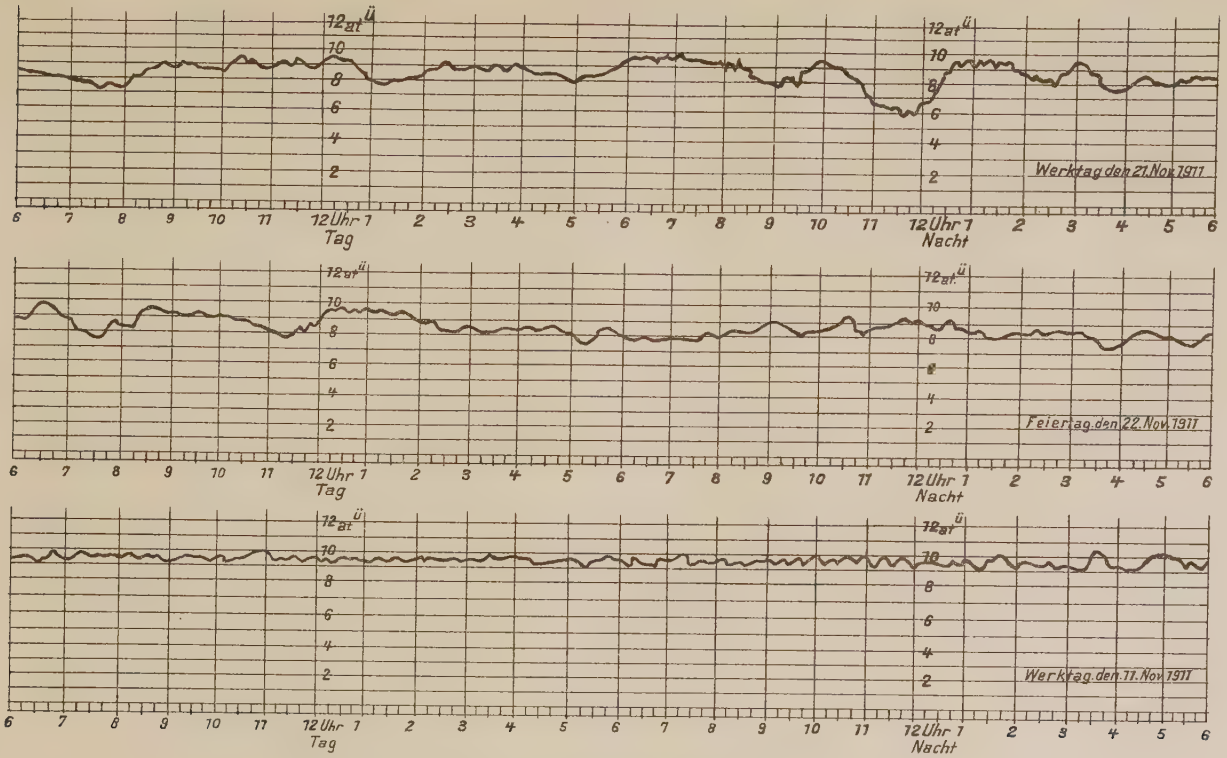
Kessel	Betriebszeit bezogen auf 1 Jahr	Pausen bezogen auf 1 Jahr	Größte Pause	Zahl der Pausen in 11Monaten	Durchschnittliche Betriebszeit
	Tage	Tage	Tage		Tage
1	235	131	60	3	72
2	310	56	31	3	95
3	212	154	83	2	98
4	225	141	102	2	103
5	253	113	63	2	116
6	303	63	45	2	139
7	205	161	99	2	94
8	230	136	87	2	106
9	222	144	88	2	102
10	247	119	89	2	113
11	123	243	169	2	57
12	216	150	76	3	66
13	227	139	47	3	69
14	156	210	153	2	72
15	221	145	80	4	51
16	214	152	48	3	65
17	211	155	65	3	65
18	194	172	81	3	59
Mittel	223	143	81	2,5	82

umfangreichen Reparaturen Anlaß gab, ist der Wert von 26 % gering zu nennen.

Daß die Größe der Kesselanlage nicht im richtigen Verhältnis zu der geforderten Dampferzeugung stand, zeigte sich vor allem in einem häufigen starken Schwanken der Dampfspannung. Die Figuren 10 bis 15 geben einige Tageskurven wieder, die von einem registrierenden geeichten Manometer geschrieben wurden. Man erkennt, daß ein Sinken des Dampfdruckes von 10 auf 7 Atm. keine Seltenheit war, daß aber auch Drücke bis auf 5 Atm. herab vorkamen. Mit dem Halten der Dampfspannung hatte es seine große Not. Die



Figuren 10 bis 12. Die Dampfspannung der Batteriekesselanlage.



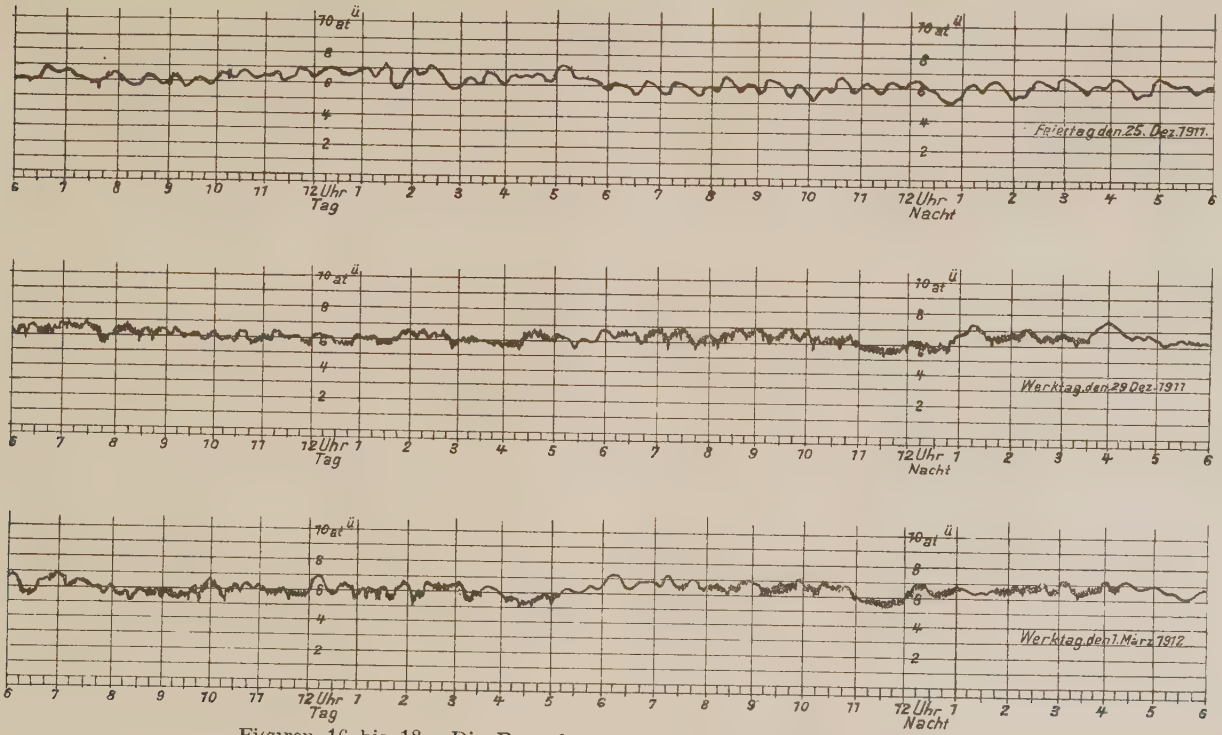
Figuren 13 bis 15. Die Dampfspannung der Batteriekesselanlage.

Heizer waren in einer Weise angestrengt, daß sie oft nach wenigen Tagen oder Wochen ihren Dienst verließen, was wiederum nicht günstig auf eine Anlage wirken konnte, bei der es in so beträchtlichem Maße auf die Geschicklichkeit des Bewartungspersonals ankam. Zum Abschlacken mußte erst ein geeigneter Zeitpunkt abgewartet werden, zu welchem die Spannung nicht zu tief stand, auch durfte dasselbe nur bei wenigen Kesseln gleichzeitig erfolgen. Daß jedoch auch Tage vorkamen, an denen die Dampfspannung auf befriedigender Höhe blieb, hing mit dem übrigen Betriebe eng zusammen, der gleichfalls an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit angelangt war.

III. Die Flammrohrkesselanlage.

Ein wesentlich erfreulicheres Bild bieten die Verhältnisse der Flammrohrkesselanlage. Der festgestellte Wirkungsgrad $\eta = 0{,}586$ ist als befriedigend anzusprechen. Er entspricht einem Werte, wie er unter ähnlichen Verhältnissen der Praxis bei einer Reihe von Verdampfungsversuchen gefunden wurde. Nur unter Anwendung mechanischer Rostbeschickung verbunden mit selbsttätigen Rauchgasanalysatoren dürfte die Ausnutzung des hier verfeuerten Brennstoffes sich bis 70 % steigern lassen.

Die Kesselleistung schwankte, wie aus Zahlentafel 4 zu ersehen ist, zwischen 12,9 kg/qm Heizfläche in den warmen und 18,4 kg/qm in den kalten Monaten. Der Einfluß der Außentemperatur ist hier so bedeutend, da an Heizdampf für Betriebsgebäude, Werkstätten und Bureauräume große Mengen verbraucht wurden. Die geringe Anstrengung übte einen günstigen Einfluß auf die Betriebsverhältnisse der Anlage aus. Man benötigte eine kleinere Anzahl Heizer, die Reparaturen fielen weniger umfangreich aus und vor allem hielt sich die Dampfspannung auf normaler Höhe, obwohl die Schwankungen der Dampfentnahme infolge der Förderpausen sich hier stärker hätten äußern müssen als in der Batteriekesselanlage, wo die großen energie-



Figuren 16 bis 18. Die Dampfspannung der Flammrohrkesselanlage.

zehrenden Wasserhaltungen die Schwankungen der Förderung einigermaßen ausgleichen. Die Tageskurve der Dampferzeugung ist aus Figur 9 zu ersehen. Dieselbe wurde in der Weise konstruiert, daß aus den Registrierstreifen der Karlikapparate die Zahl der von Viertelstunde zu Viertelstunde bei jeder Fördermaschine erfolgten Züge festgestellt wurde. Die für dieselben aufgewendeten Dampfmengen wurden dann unter Zugrundelegung von Messungen mit einem Hallwachszähler bestimmt, während der Verbrauch an Heizdampf sowie die Stillstandsverluste der Fördermaschinen an Sonntagen, wo die Förderung stand, aus den verspeisten Wassermengen errechnet werden konnte. In den Spannungsdiagrammen Figuren 16 bis 18 äußerte sich der Verbrauch der Förderzüge in deutlich erkennbaren senkrechten Strichen, die an Sonntagen, wo die Förderung stand, verschwanden.

Die Anstrengung der Kesselanlage, bezogen auf die tatsächlich vorhandene Heizfläche, ist mit 10,8 kg/qm sehr mäßig. Die Reservebereitschaft von 39 % muß überreichlich, die Ausnutzung ungenügend genannt werden.

DRITTER ABSCHNITT.

Die geleisteten Nutzarbeiten.

Einen Gesamtüberblick über die Kraftwirtschaft der Grube würde man gewinnen, wenn man die von sämtlichen Arbeitsmaschinen geleisteten Nutzarbeiten mit der Menge des verfeuerten Brennstoffes vergleicht. Da Wärme und Arbeit einander äquivalent sind und 632 W.E. einer Pferdekraftstunde entsprechen, so ließe sich auf diese Weise ein Wirkungsgrad berechnen, der alle Verluste, von den Essenverlusten der Kesselanlage bis zu den Rohrleitungsverlusten einer Wasserhaltung, in sich begreift. Die Schwierigkeit einer solchen Aufgabe liegt einmal in ihrem Umfange — auf der Ferdinandgrube gab es einige Tausend energieumsetzende oder übertragende Anlagen — und weiterhin darin, daß für manche Arbeitsmaschinen wie z. B. alle in der Horizontalen fördernden Transportanlagen ein endlicher mathematischer Ausdruck für die Nutzarbeit gar nicht gefunden werden kann. Man sah sich deshalb vor die Notwendigkeit gestellt, den Strom der erzeugten Energie nur über den wichtigsten Teil seines Verlaufes zu verfolgen. Es wurden zu dem Zwecke die von sämtlichen dampfangetriebenen Maschinen geleisteten täglichen Nutzarbeiten fortlaufend bestimmt, also in erster Linie die erzeugten KW.-Stunden, die geleisteten Schacht-PS.-Stunden und die Kompressorarbeit. Der weitere Verlauf der Kraftverwertung konnte nur an einigen wenigen Energie-

zweigen studiert werden. Demgemäß erfaßt der so errechnete Wirkungsgrad nur den Verlauf: Kohle — Dampf — mechanische Arbeit der Dampfmaschine — Nutzarbeit der dampfangetriebenen Maschine.

Die Stromerzeugung.

Die von jedem der 6 Generatoren der Zentrale erzeugte elektrische Energie wurde durch KW.-Std.-Zähler für ungleich belastete Phasen gemessen, an denen der Zählerstand täglich früh 6 Uhr abgelesen wurde. Die Zähler wurden durch neue Leistungszähler für gleichfalls ungleich belastete Phasen, die von den Siemens-Schuckert-Werken in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt waren, geeicht. Dabei ergaben sich folgende Korrektionen:

Turbine I	+ 14,8 %
Turbine II	+ 16,2 %
Stehende 400 PS. (nicht geeicht, da nur selten und dann sehr gering belastet)	
Stehende 600 PS.	— 2,8 %
Breslauer Maschine	— 1,1 %
Borsig-Maschine	— 0,6 %

Die an den Turbinenzählern gefundenen außerordentlich hohen Korrektionen, welche durch Leistungszeiger mit Präzisionsmeßtransformatoren nachgeprüft wurden, erklären sich dadurch, daß die Instrumente vier Jahre hindurch fast ohne Unterbrechung im Betrieb waren, während die der anderen Maschinen erheblich geringer beansprucht wurden. Von den Kolbenmaschinen lief meist nur eine und zwar abwechselnd durch, während der größte Teil der Belastung von den Turbinen aufgenommen wurde. Die gefundenen Abweichungen von ca. 15 % entsprechen der Zunahme der inneren Reibung.

Für jeden Tag der Untersuchungszeit wurden nun die Differenzen der Zählerablesungen gebildet, diese Werte mit obigen Korrektionen versehen und daraus die durchschnitt-

liche Tagesleistung in KW. berechnet. Den Verlauf derselben veranschaulicht Figur 19. Die Monatserzeugungen der elektrischen Zentrale sind aus der Zahlentafel 8 zu ersehen.

Die Druckluferzeugung.

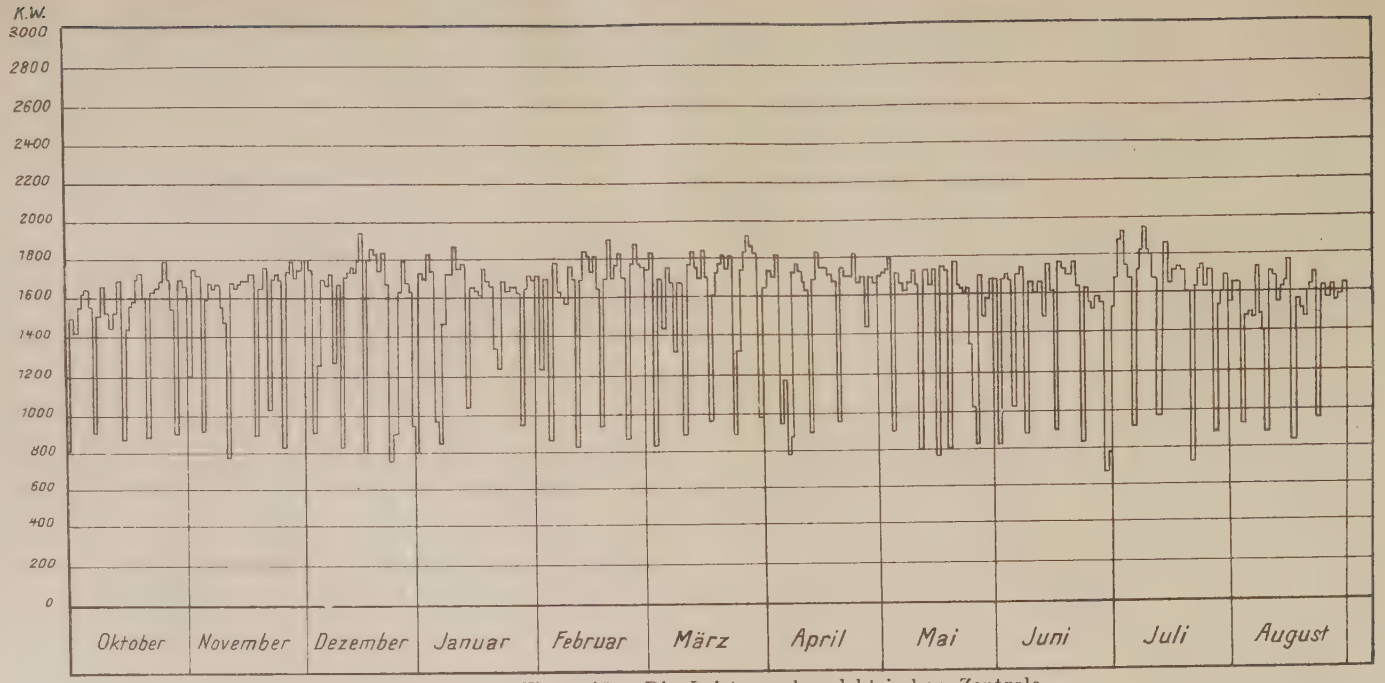
Im Druckluftbetriebe eines Bergwerks ist der Verwendungsort der Preßluft räumlich so weit von der Erzeugungsstelle entfernt, daß die Temperatur der bei der Kompression erwärmten Luft bei ihrer Fortleitung stets bis auf annähernd Atmosphärentemperatur sinkt. Diese Wärmeabgabe stellt also einen ungewollten Verlust dar, der theoretisch gleich Null werden kann, wenn die Kompression isothermisch verläuft, d. h., wenn die im Luftzylinder geleistete mechanische Arbeit keine Erhöhung der inneren Energie der Luft hervorbringt. Da mithin im Kompressor die isothermische Kompression erstrebt werden muß, so ist die Erhöhung der inneren Energie der Maschine als Verlust zur Last zu legen und als Nutzleistung nur diejenige anzusprechen, die erforderlich wäre, um die betreffende Luftmenge isothermisch zu komprimieren. Diese isothermische Nutzleistung in PS. ergibt sich aus der Gleichung

$$N_{isoth} = Q/sec \cdot \frac{P_0}{75} \cdot \ln \frac{P_1}{P_0}$$

Hierin bezeichnet Q/sec die sekundlich angesaugte Luftmenge in cbm, P_0 den Ansaugedruck, P_1 den Kompressionsenddruck in kg/qm. Die Nutzarbeit eines Tages ist dann

$$A_{isoth} = \frac{Q/Tag}{3600} \cdot \frac{P_0}{75} \cdot \ln \frac{P_1}{P_0}$$

Um nun die Nutzarbeit schnell für jeden Tag der Untersuchungszeit fortlaufend zu ermitteln, wurde eine angenäherte Kurve für den Ausdruck $\frac{P_0}{75} \ln \frac{P_1}{P_0}$ entwickelt, wobei $P_0 =$ Konst. entsprechend dem durchschnittlichen Barometerstande gesetzt wurde. Da der Barometerstand im Maximum um 24 mm schwankte, so wurde durch die



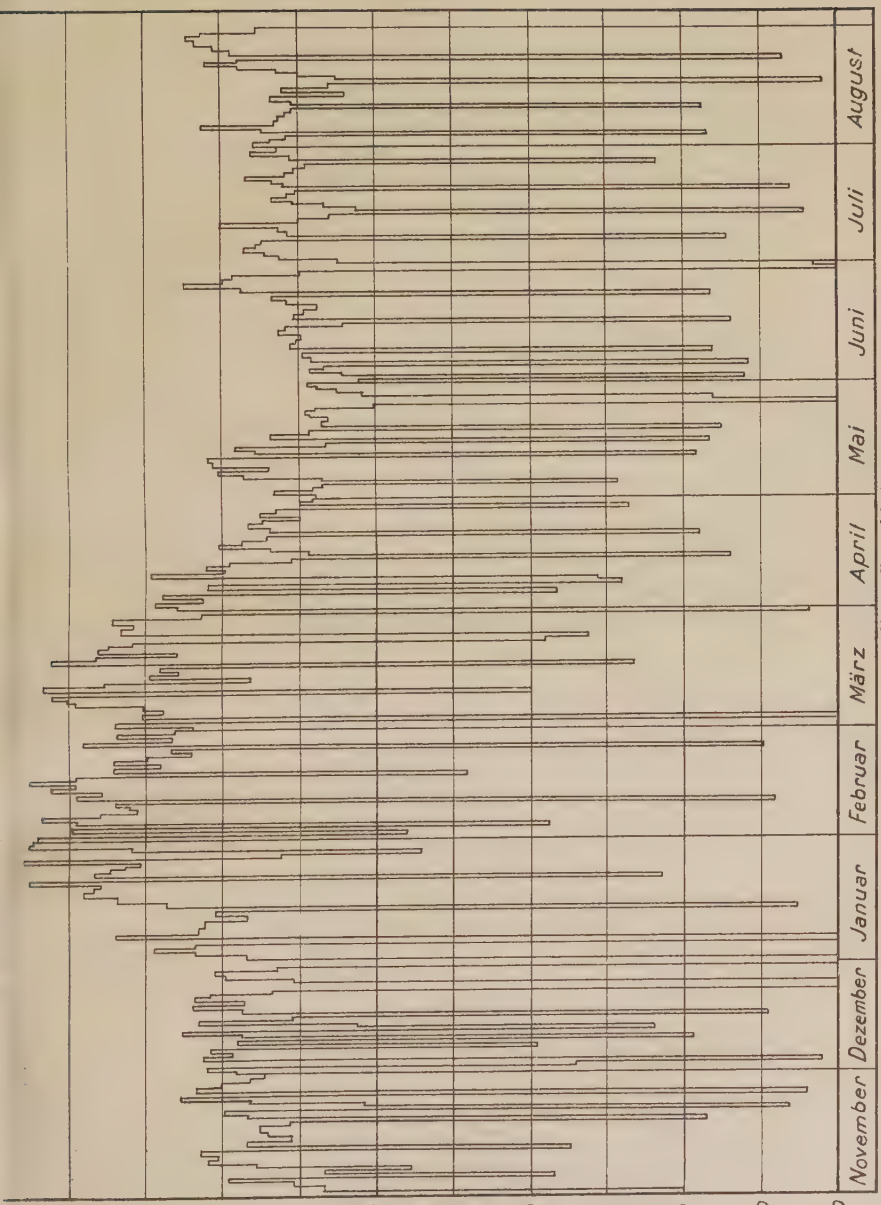
Figur 19. Die Leistung der elektrischen Zentrale.

Annäherungsrechnung ein sehr geringer Fehler hervorgerufen. Seitens des Maschinisten wurde alle drei Stunden ein eigens dazu eingebauter Hubzähler und der Druck am Windkessel abgelesen. Von den Ablesungen am Hubzähler wurde in der Regel nur die um 6 Uhr früh erfolgte benutzt, während von den abgelesenen Drücken der Mittelwert gebildet und dieser nach einer am 3. November aufgenommenen Eichkurve korrigiert wurde. Der Kompressionsenddruck ist nun zwar nicht identisch mit dem Druck im Windkessel. Die Differenz der beiden stellt den Schieberverlust dar. Da dieser aber gleichfalls der Maschine zur Last zu legen ist, so mußte zur Ermittelung der isothermischen Nutzleistung mit dem Druck im Windkessel gerechnet werden. Die Feststellung der angesaugten Luftmenge geschah aus den gezählten Hüben, den Zylinderdimensionen und einem am 19. November gemessenen mittleren volumetrischen Wirkungsgrade $\eta = 0{,}92$. Genauer müßte, um die von der Maschine gelieferte Nutzarbeit zu erhalten, mit dem Liefergrade gerechnet werden; denn die zwischen Saug- und Druckleitung innerhalb der Maschine auftretenden Undichtigkeitsverluste sind gleichfalls dieser zur Last zu legen. Tatsächlich sollen, wie Versuche von Richter *) und Heilemann **) ergeben haben, die auf Grund des Liefergrades berechneten Luftmengen um 3 bis 10 % kleiner sein. Da jedoch hier der Liefergrad nicht ohne Schwierigkeit bestimmt werden konnte, so wurde mit dem volumetrischen Wirkungsgrade gerechnet, so daß tatsächlich die ermittelten Nutzarbeiten etwas zu günstig erscheinen. Der Verlauf der täglichen Drucklufterzeugung ist aus Figur 20, die monatlichen isothermischen Nutzarbeiten sind aus Zahlentafel 8 zu ersehen.

Die Schachtarbeit.

Die von den Förderanlagen geleisteten Nutzarbeiten ergeben sich aus den Nutzlasten G und den Teufen H. Es ist

*) Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1905, S. 1795.
**) Mitteilungen über Forschungsarbeiten, Heft 58.



Figur 20. Die tägliche Druckluftererzeugung.

$$A_{\text{Schacht}} = \frac{G \cdot H}{75 \cdot 3600} \text{ in PS./Std.}$$

H war für jede Fördermaschine eine Konstante, da Benjamin und Mauve nur aus 300, Gruschka nur aus 400 m-Sohle förderten. Die Zahl der gehobenen und eingehängten Förderwagen wurde bereits seitens der Grubenabteilung fortlaufend mittels Stechbrettern festgestellt, so daß es nur noch erforderlich war, den Inhalt einer größeren Anzahl Wagen nachzuwägen, um fortlaufend die pro Tag gezogenen und eingehängten Nutzlasten zu erhalten. Die auf diese Weise erhaltene Nutzarbeit beim Einhängen von Lasten wurde von der beim Heben abgezogen und die Differenz als Nutzarbeit des Schachtes bezeichnet. Genauer müßte die Schachtleistung der eingehängten Lasten als zusätzliche Antriebsleistung aufgefaßt und multipliziert mit dem Wirkungsgrad der Fördermaschine von der Leistung der gehobenen Lasten abgezogen werden. Davon wurde jedoch, um die Rechnungen so einfach wie möglich zu gestalten, abgesehen und, wie oben erwähnt, verfahren. Dies konnte um so eher geschehen, als die eingehängten Lasten durchschnittlich nur 6 % der gehobenen betrugen.

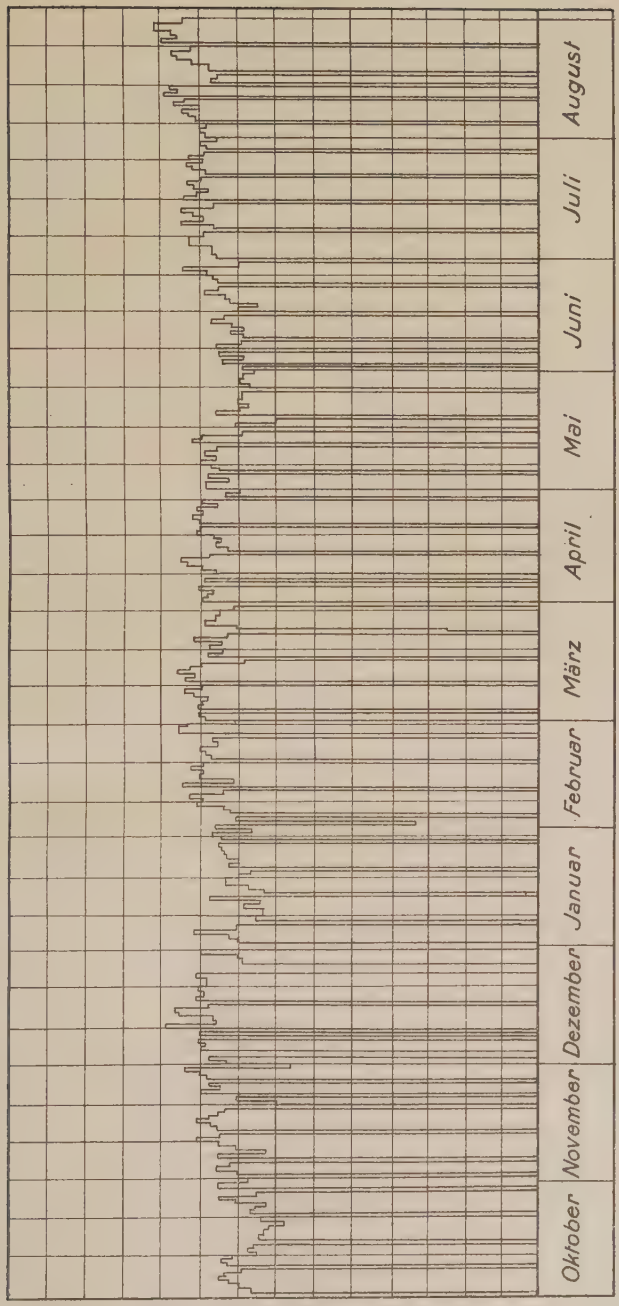
Gefördert wurden Kohlen, Berge und Personen, eingehängt Berge, Material und Personen. Diese einzelnen Lasten wurden bei der Betriebskontrolle getrennt verbucht. Bei der Berechnung der Schachtarbeit wurde gesetzt

1 Person = 75 kg,
1 Wagen Material = 1 Wagen Berge.

Gewogen wurden 44 Wagen Kohle, 16 Wagen Berge, 45 leere Wagen. Dabei ergab sich:

Wagen Kohle netto	625 kg
Wagen Berge netto	833 „
Wagen leer	387 „

Die genauen Teufen waren für Mauveschacht 274 m, für Benjamin 286 m und für Gruschka 391 m. Der Verlauf der täglichen Schachtarbeiten ist aus Figur 21, die monatlichen Schachtarbeiten sind aus Zahlentafel 9 zu ersehen.



Figur 21. Die Schachtarbeit.

Die Dampfheizung.

Unter der nutzbar von Heizkörpern abgegebenen Wärmemenge soll derjenige Betrag verstanden werden, der, von den Heizkörpern aufgebracht, zur Befriedigung eines Wärmebedürfnisses dient. Für die Ermittelung dieses Wärmebedürfnisses hat man nun hier keinen anderen Anhalt, als ihn die Annahme gewährt, daß die Bemessung der Heizkörper bereits dem maximal auftretenden Wärmebedürfnis entsprechend erfolgt war. Im allgemeinen sollen ja die Heizkörper für die vorkommende niedrigste Tagestemperatur, also — 20° C. noch ausreichend bemessen sein. Dies traf jedoch im vorliegenden Falle nur für die allseitig geschlossenen Räume wie Bureau, Zechenhäuser etc. zu. In den Aufbereitungsanstalten und an den Hängebänken der Schächte, welche nur geschützt, nicht vollständig geschlossen sein konnten, war der Wirkungsbereich der Heizung naturgemäß ein sehr kleiner. Wenn wir daher annehmen, daß die maximale Leistung der Heizkörper nur bis hinunter auf 0° C. in der Lage war, das Wärmebedürfnis voll zu befriedigen, so dürfte man damit der Wirklichkeit nahe kommen. Die nutzbar abgegebene Wärmemenge ist dann unterhalb 0° C. gleich der für das vorliegende Temperaturgefälle zwischen Dampf und Umgebungsluft höchstmöglichen. Einfacher ist die Annahme, daß bei + 20° C. ein Wärmebedürfnis nirgends mehr vorliegt. Wo trotzdem bei diesei Temperatur etwa noch Apparate infolge mangelhafter Bedienung offen gehalten wurden, so sind die daselbst abgegebenen Wärmemengen in ihrem vollen Betrage als Verlust zu rechnen. Zwischen diesen beiden Grenzwerten wird die nutzbar abgegebene Wärmemenge ungefähr gradlinig mit der Tagestemperatur verlaufen, da die Wärmeabgabe geheizter Räume proportional den Temperaturgefällen ist.

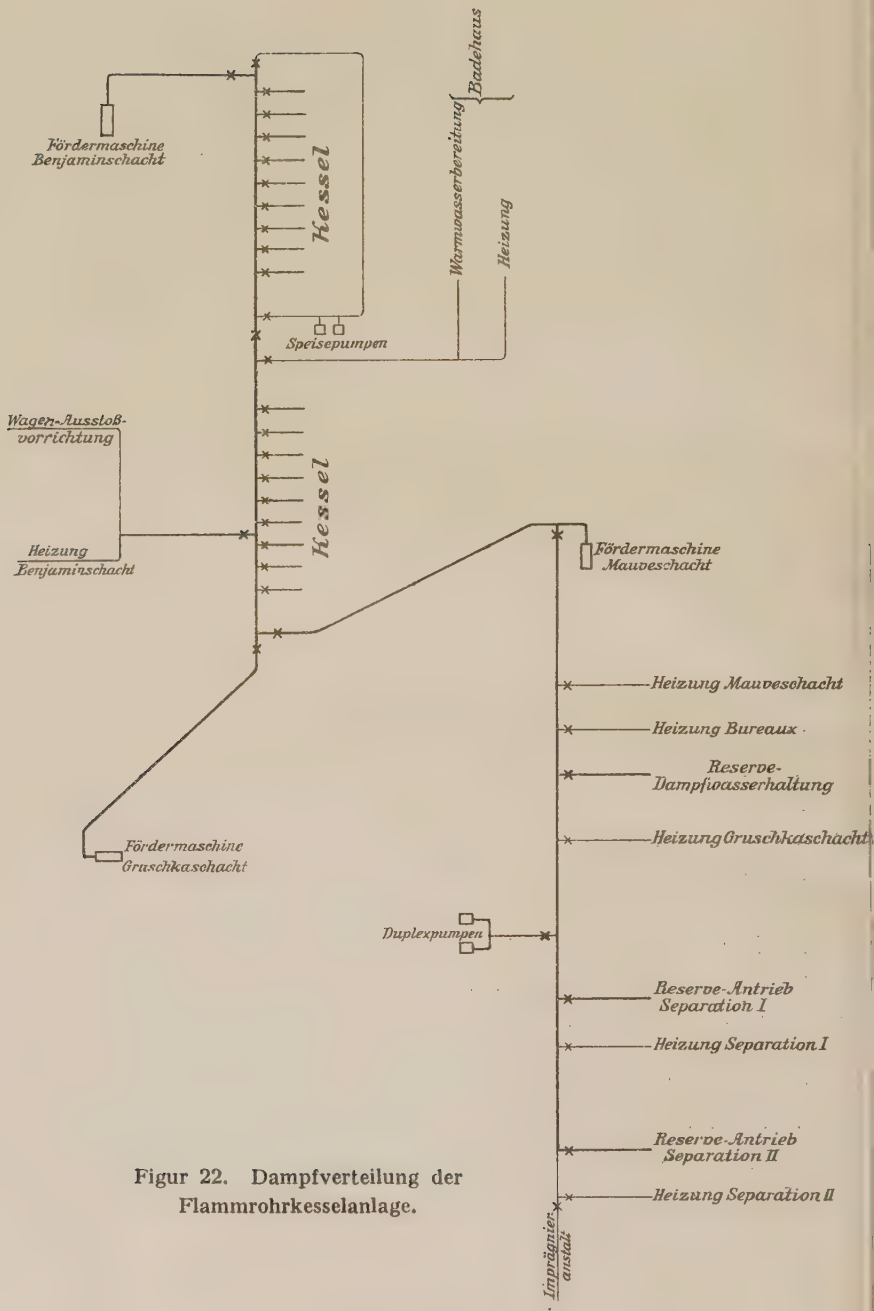
Es wurde nun täglich an einem im Freien angebrachten Thermometer die Maximal- und Minimaltemperatur abgelesen

und die mittlere Tagestemperatur annähernd gleich dem Mittelwert aus beiden gesetzt. Auf diese Weise erhielt man die durchschnittliche Temperatur eines Monats, die in Zahlentafel 3 eingetragen ist. Um so die nutzbar abgegebene Wärmemenge berechnen zu können, mußte noch die maximale Wärmeabgabe der aufgestellten Heizkörper bekannt sein. Diese ermittelte man auf nachstehende Weise.

Die Dampfheizung der Bureauräume, der Aufbereitungsanstalten, des Mauve- und Gruschkaschachtes wurde durch eine zu den Reserve-Dampfwasserhaltungen führende Leitung versorgt, welche zu diesem Zwecke an mehreren Stellen angezapft war und ihrerseits von der zur Fördermaschine Mauveschacht führenden Leitung abzweigte. Außerdem wurden von ihr noch versorgt eine kleine Duplex-Pumpenanlage und eine Imprägnieranstalt für Grubenhölzer. Die Heizkörper wurden ausgemessen, und es ergab sich eine gesamte Heizfläche von 929 qm. Ferner zweigte sich, wie aus dem Rohrleitungschema Figur 22 zu ersehen ist, von der Dampfsammelleitung der Flammrohrkesselanlage direkt das zur Heizung des Benjaminschachtes bestimmte Rohrsystem ab. Verlegt waren dort 352 qm Heizfläche. Des weiteren versorgte die zum Badehause führende Leitung einige daselbst aufgestellte Heizkörper von zusammen 249 qm Heizfläche; insgesamt waren demnach an die Flammrohrkesselanlage Heizkörper mit 1530 qm Heizfläche angeschlossen.

Als maximale stündliche Wärmeabgabe derartiger Rippenheizkörper, wie sie hier allgemein verwendet wurden, rechnet nun Gramberg*) 4 W.E. pro qm und 1^0 C. Temperaturgefälle. Der Dampf wird vor der Fördermaschine auf ca. 5 Atm. heruntergedrosselt. Seine Temperatur daselbst ist sonach 156^0 C. Bis zu den Heizkörpern treten in zahlreichen Ventilen und ausgedehnten Leitungen weitere Druck- und Temperaturverluste auf, so daß als mittlere Dampftemperatur

*) Gramberg, Heizung und Lüftung. Springer 1909.



Figur 22. Dampfverteilung der Flammrohrkesselanlage.

in den Heizkörpern ca. 120° C. entsprechend einem Druck von 2 Atm. abs. gerechnet werden kann. Nimmt man 20° C. als Temperatur der die Rippenkörper umgebenden Luft an, so ergibt sich eine maximale stündliche Wärmeabgabe von 400 W.E./qm. Auf dieser Grundlage konnte nunmehr die täglich nutzbar abgegebene Wärmemenge berechnet werden. Die monatlichen Mengen sind in Zahlentafel 9 eingetragen.

Auch an die Batteriekesselanlage war eine beträchtliche Zahl von Heizkörpern angeschlossen. Hier bot jedoch im Gegensatz zur Flammrohrkesselanlage die Dampfheizung insofern weniger Anlaß zu Verlusten, als die Leitungen nur wenig verzweigt waren. Die Heizdampfleitungen zweigten sich, wie aus Figur 8 zu ersehen ist, in der elektrischen Zentrale und im Kompressorgebäude ab. In der Zentrale wurde der Dampfdruck durch ein Reduzierventil ermäßigt, während im Kompressorgebäude mit einem gewöhnlichen Absperrventile gedrosselt wurde. Erstere Leitung hatte den Bedarf einer Schmiede, einer Schlosserei und einer der Grube angegliederten Ziegelei zu decken. Letztere versorgte die Zimmerwerkstatt und ein kleines Gewächshaus. Installiert waren im ganzen mehrere Hundert Rippenheizkörper mit zusammen 972 qm Heizfläche. Da der in der Batteriekesselanlage erzeugte Dampf überhitzt war, so wurde mit einer Temperatur von 140° C. in den Heizkörpern gerechnet. Die sich hieraus ergebenden nutzbar abgegebenen Wärmemengen sind aus Zahlentafel 8 zu ersehen.

Daß das geschilderte Rechnungsverfahren auf große Genauigkeit keinen Anspruch erheben darf, kann nicht geleugnet werden. Da jedoch eine experimentelle Ermittelung der nutzbar abgegebenen Wärmemengen undurchführbar erscheint, so konnte auf die überschlägige Berechnung nicht verzichtet werden, wollte man der wichtigen Frage näher treten, wieviel von der gesamten in der Kesselfeuerung erzeugten Wärmemenge wiedergewonnen wird. Wie später gezeigt werden soll, ergaben sich die Verluste bei der Dampf-

heizung so außerordentlich groß, daß selbst eine um 20 % höhere Nutzwärmemenge nicht in der Lage gewesen wäre, dieselben in erheblich günstigerem Lichte erscheinen zu lassen.

Die Kesselspeisung.

Um analog den Nutzleistungen der Generatoren, des Kompressors und der Fördermaschinen bei der Kesselspeisung die effektive Pumpenleistung zu erhalten, ist auf die sich aus der verspeisten Wassermenge und der effektiven Förderhöhe ergebenden Leistung noch der Verlust in den Speiseleitungen und den Ventilen zu schlagen. Derselbe wurde mit 20 % in Rechnung gesetzt. Die effektive Förderhöhe war gleich dem mittleren Kesseldrucke zuzüglich einer Saughöhe von 3 m W.S.

Badehaus.

Das Badewasser wurde durch Einleiten von Dampf, der in der Flammrohrkesselanlage erzeugt wurde, in einem Mischapparat von ca. 12° C. auf 40° C. erwärmt. Der Wasserverbrauch konnte, da die Meßapparate der Grube häufig defekt wurden und keine Reserve für sie vorhanden war, nur sehr ungenau bestimmt werden. Es duschten täglich ca. 1000 Mann; weiterhin wurden ca. 30 Wannenbäder mit je 0,5 cbm ausgegeben. Der Verbrauch einer Dusche wurde mit 0,05 cbm in Rechnung gesetzt. Der Wärmeverbrauch eines Sonntages konnte mit dem vierten Teile dieser Werte angesetzt werden, da dann nur die Familien der Beamten die Anstalt benutzten. Der Wärmeverbrauch ergab sich somit

Werktags zu $28 \cdot 65\,000 = 1{,}82$ Millionen W.E.
Sonntags zu $0{,}46$ „ „

Duplexpumpen.

Die Pumpen waren an die Heizdampfleitung der Flammrohrkesselanlage angeschlossen. Sie liefen abwechselnd und deckten einen Teil des Wasserbedarfes der Kohlenwäsche. Ihr Betrieb war ein sehr unregelmäßiger. Da sie nur eine

ganz untergeordnete Rolle in der Kraftwirtschaft der Grube spielten, so begnügte man sich damit, die tägliche Fahrzeit und die durchschnittliche Tourenzahl notieren zu lassen. Die effektive Leistung einer Pumpe war ca. 3,4 PS. Die durchschnittliche Fahrzeit war im

Oktober	? St.	April	7,5 St.
November	22,5 „	Mai	? „
Dezember	23,0 „	Juni	? „
Januar	23,0 „	Juli	7,8 „
Februar	9,0 „	August	12,0 „
März	1,5 „		

Imprägnieranstalt.

Gleichfalls an die Heizdampfleitung der Flammrohrkesselanlage war eine Imprägnieranstalt für Grubenhölzer angeschlossen. Diese bestand aus zwei Bassins für je 39 cbm Laugeninhalt, in denen die Hölzer täglich ca. fünf Stunden lang gekocht wurden. Die Lauge wurde durch Einleiten des Dampfes zum Sieden gebracht. Als nutzbare Wärmemenge möge hier diejenige aufgefaßt werden, welche erforderlich ist, um die auf durchschnittlich 37—51° C. abgekühlte Flüssigkeit auf 100° C. zu erwärmen.

Ein Dampfaufzug, der an die Sattdampfleitung der Batteriekesselanlage angeschlossen war und nur sehr wenig benutzt wurde, kann bei der Berechnung von Nutzarbeiten außer acht gelassen werden. Es wurden auf ihm nur Lasten eingehängt und der Dampf zum Heben der leeren Schale verwendet.

Der Wirkungsgrad.

Die isothermische Nutzleistung des Kompressors konnte erst von November ab fortlaufend untersucht werden. Für den Oktober mußte daher schätzungsweise der Mittelwert aus den übrigen Monaten eingesetzt werden. Desgleichen

wurden die Fahrzeiten der Duplexpumpen nicht die ganze Untersuchungszeit aufgeschrieben, so daß auch diese Werte teilweise ergänzt werden mußten. Die errechneten Nutzarbeiten wurden in Zahlentafel 8 und 9 eingetragen und in Wärmeeinheiten umgerechnet. Das Verhältnis ihrer Summe zu der der Kesselfeuerung in den Kohlen zugeführten Energie gibt dann den erreichten Gesamtwirkungsgrad bei der Umsetzung der Wärme in Nutzarbeit wieder. Derselbe ist in der vorletzten Spalte der Zahlentafeln eingetragen und zeigt bei der Energie der Batteriekesselanlage ein Schwanken zwischen 3,62 und 4,48 %, bei der Energie der Flammrohrkesselanlage ein solches zwischen 2,39 und 5,02 %. Bei Benutzung dieser Zahlen zu wirtschaftlichen Berechnungen, etwa bei Untersuchung der Frage, wieviel verkäufliche Energie aus 1 kg Brennstoff gewonnen wurde, ist

Zahlen-

Die Nutzarbeiten der

	Wärmewert K der verfeuerten Kohle	Wärmewert D des erzeugten Dampfes	Stromerzeugung	
	Millionen W.E.	Millionen W.E.	KW.-St.	Millionen W.E.
Oktober . . .	33 500	15 900	1 102 600	946
November . .	30 400	14 500	1 093 000	938
Dezember . .	32 100	15 300	1 138 700	977
Januar . . .	35 700	16 950	1 163 700	1 000
Februar . . .	31 700	15 050	1 122 100	964
März	31 900	15 200	1 180 300	1 014
April	30 100	14 300	1 124 100	965
Mai	27 000	13 550	1 120 700	963
Juni	26 300	12 600	1 056 100	906
Juli	25 900	12 000	1 198 700	1 029
August . . .	27 100	12 450	1 120 500	962
Summe	331 700	157 800	12 420 500	10 664

noch zu berücksichtigen, daß ein Teil der berechneten Nutzarbeiten für die Weiterverwertung nicht mehr frei ist. Es müßte z. B. der Wert der Kesselspeisung und die zur Kondensierung des Dampfes erforderliche recht bedeutende elektrische Energie in Abzug gebracht werden.

Die gefundene Wärmeausnutzung ist nun außerordentlich schlecht. An ausgeführten Anlagen wurde im Jahresdurchschnitt eine Ausnutzung von über 11,5 % des Wärmewertes der unter Kesseln verfeuerten Kohle erzielt.*) Im vorliegenden Falle gelang es somit nur, den dritten Teil derjenigen Energie aus dem Brennstoffe herauszuholen, die praktisch erreichbar ist. Diese Tatsache wird aber noch viel auffallender durch die Feststellung, daß der vierte Teil der

*) Stahl und Eisen 1911, S. 2088.

tafel 8.

Batteriekesselanlage.

Drucklufterzeugung		Heizung	Kesselheizung		Summe		
PS.-St. isoth.	Millionen W.E.	Millionen W.E.	PS.-St.	Millionen W.E.	Millionen W.E.	% von K	% von D
(152 500)	(96)	165	8 730	5,5	1 213	3,62	7,63
141 400	89	235	8 070	5,1	1 267	4,17	8,75
129 900	82	312	8 440	5,3	1 376	4,28	9,00
164 900	104	347	9 520	6,0	1 457	4,08	8,60
179 300	113	308	8 280	5,2	1 390	4,38	9,23
178 500	113	295	8 400	5,3	1 427	4,48	9,39
147 900	93	226	7 950	5,0	1 289	4,28	9,01
139 900	88	130	7 530	4,8	1 186	4,39	8,75
129 700	82	17	6 990	4,4	1 009	3,84	8,00
154 200	97	9	6 660	4,2	1 139	4,30	9,48
159 200	101	43	6 950	4,4	1 110	4,10	8,92
1 677 400	1 058	2 087	87 520	55,3	13 863	4,18	8,78

Zahlen-

Die Nutzarbeiten der

	Wärmewert K der verfeuerten Kohle	Wärmewert D des erzeugten Dampfes	Schachtarbeit		Duplexpumpen	
	Millionen W.E.	Millionen W.E.	PS.-St.	Millionen W.E.	PS.-St.	Millionen W.E.
Oktober. . .	11 700	7 080	100 400	63,5	(1 208)	(0,8)
November. .	12 700	7 680	100 500	63,5	2 875	1,8
Dezember . .	14 000	8 480	97 200	61,4	2 425	1,5
Januar . . .	14 400	8 740	99 600	62,9	2 060	1,3
Februar. . .	13 700	8 290	106 600	67,3	795	0,5
März	14 000	8 480	110 400	69,7	134	0,1
April	13 300	8 010	105 100	66,5	651	0,4
Mai	13 600	7 410	102 900	64,9	672	0,4
Juni	9 200	6 020	93 400	59,0	694	0,4
Juli	10 900	6 720	120 600	76,2	698	0,4
August . . .	11 400	7 150	124 400	78,5	1 075	0,7
Summe	138 900	84 060	1 161 100	733,4	13 287	8,3

gewonnenen Nutzenergie von der Heizung herrührt. Diese wird ja unter normalen Verhältnissen einen Wirkungsgrad erreichen, welcher sich um 50 % bewegt, da hier die Abwärmeverluste eine weit geringere Rolle spielen als bei der Umsetzung von Wärme in mechanische Arbeit. Unter dem Einflusse dieser von Heizkörpern abgegebenen Nutzwärmemengen müßte sich bei erstklassigen Anlagen mit dem gleichen Verhältnis von Kraft und Heizwärme die mittlere Ausnutzung auf ca. 21 % steigern lassen, so daß tatsächlich nur der fünfte Teil dessen erreicht wurde, was nach dem heutigen Stande der Technik für möglich gehalten werden muß. Diese Erscheinung deutet bereits darauf hin, daß nicht nur in einzelnen, sondern in allen Teilen des Betriebes außerordentliche vermeidbare Verluste auftreten. Aufgabe des nächsten Kapitels wird es daher sein, die Hauptzweige

tafel 9.

Flammrohrkesselanlage.

Heizung	Bade-haus	Im-prägnier-Anstalt	Kesselspeisung		Summe		
Millionen W.E.	Millionen W.E.	Millionen W.E.	Ps.-St.	Millionen W.E.	Millionen W.E.	% von K	% von D
216	49,6	133	3 270	2,1	465	3,98	6,57
308	46,4	135	3 450	2,2	557	4,39	7,25
409	44,1	145	3 770	2,4	663	4,74	7,82
455	49,6	150	3 890	2,5	722	5,02	8,26
404	47,3	137	3 680	2,3	658	4,80	7,95
387	49,6	144	3 800	2,4	653	4,67	7,70
270	46,4	134	3 570	2,3	520	3,91	6,50
171	48,3	130	3 360	2,1	417	3,07	5,63
22	45,0	116	2 710	1,7	244	2,65	4,05
11	51,0	119	3 070	1,9	260	2,39	3,87
57	51,0	122	3 180	2,0	311	2,73	4,35
2 710	528,3	1 465	37 750	23,9	5 469	3,94	6,50

des Energiestromes einzeln ins Auge zu fassen und ihre Verluste aufzudecken.

VIERTER ABSCHNITT.

Die Dampfverteilung der Batteriekesselanlage.

(Elektrische Zentrale, Kompressor.)

Die Untersuchungen bezüglich der Dampfverteilung hatten den Zweck, eine Unterlage für die spätere Berechnung der Energiekosten zu gewinnen. Bei den meisten Berechnungen ähnlicher Art begnügte man sich bisher damit, den spezifischen Dampfverbrauch einer Maschine für einen bestimmten, den tatsächlichen Verhältnissen möglichst nahekommenden Betriebszustand durch Messung zu bestimmen. Als Dampfverbrauch setzte man dann den so erhaltenen Wert, multipliziert mit der während eines gewählten Zeitraumes erzeugten effektiven Arbeit in die Betriebskostenberechnung ein. Diese Art der Berechnung, die für Voranschläge angewendet werden m u ß , hat den Vorzug der Einfachheit. In den Fällen, in denen jedoch fortlaufend tatsächlich auftretende Betriebskosten ermittelt werden sollen, ist sie zu verwerfen, da ihre Genauigkeit durch verschiedene Mängel ungünstig beeinflußt wird. Zunächst ist es eine bekannte Tatsache, daß bei derartigen selten vorgenommenen Versuchen die Maschine in einen Zustand gesetzt wird, welcher von dem normalen weit entfernt ist. Schieber und Ventile werden neu eingeschliffen, Undichtigkeiten an den Stopfbüchsen, die den Maschinisten Wochen hindurch nicht beunruhigt haben, werden durch frische Packungen oder einfaches Festziehen behoben, die

Wasserabscheider werden auf Dampfverluste hin nachgesehen und anderes mehr. Die Dampfverbrauchsmessungen selbst können nicht allen Betriebsverhältnissen wie wechselnder Dampfspannung, Temperatur, Belastung und wechselndem Vakuum Rechnung tragen. In der Regel werden bei konstanter Dampfspannung, Temperatur und Vakuumspannung drei oder vier verschiedene Belastungen eingestellt. Aber selbst wenn auch die anderen Einflüsse eingehend untersucht wären, so würde ihre Berücksichtigung bei der Berechnung der während eines längeren Zeitraumes verbrauchten Dampfmengen so große Schwierigkeiten bereiten, daß eine Betriebskontrolle auf diesem Wege unmöglich gemacht wird. Es empfiehlt sich daher stets, auf die Speisewassermengen zurückzugehen und die Einzelmessungen, die allerdings nicht entbehrt werden können, nur zur Trennung der einzelnen Dampfverbräuche zu benutzen. Die Speisewassermengen berücksichtigen nämlich von selbst und ohne komplizierte Rechnungen alle derartigen schwer kontrollierbaren Einflüsse. Wo die Dampfverwertung konzentriert ist, wird man so wie so die Speisewassermessungen zu Grunde legen. In den Fällen aber, in denen ausgedehnte Dampfwirtschaft vorliegt, führt das geschilderte Verfahren insofern zu einer Schwierigkeit, als man dabei gezwungen ist, auch den kleineren Verbräuchen nachzugehen. Hierin liegt aber gewiß kein Nachteil; denn gerade die kleineren Verbraucher, denen seitens der Betriebsleitung vielfach nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt wird, bieten, wie die Untersuchung gezeigt hat, Anlaß zu großen Verlusten, welche sehr wohl geeignet sind, das Bild der Dampfverteilung zu verschieben.

Die Batteriekesselanlage hatte zu versorgen

1. die Turbinen und Kolbenmaschinen der elektrischen Zentrale,
2. den Kolbenkompressor,
3. einen Teil der Dampfheizung.

Die Einzeldampfverbrauchsmessungen wurden in allen Fällen mit Dampfmessern System Hallwachs vorgenommen, da die Zentralkondensation an und für sich und ferner infolge großer Undichtheiten der Kühlwasserrohre einer Messung einzelner Kondensatmengen Schwierigkeiten entgegensetzte. Der eine der benutzten Dampfmesser war Eigentum der Grube, der zweite wurde in dankenswerter Weise von der Firma Hallwachs & Co. zur Verfügung gestellt.

Der Hallwachsmesser erwies sich für den vorliegenden Zweck als ein sehr bequem zu handhabendes Instrument, da der Einbau eines Meßflansches, auch bei Leitungsdurchmessern bis zu 450 mm nur wenige Stunden in Anspruch nahm, nach dessen Fertigstellung zu beliebigen Zeiten ohne Beeinträchtigung des Betriebes gemessen werden konnte. Infolgedessen war es möglich, ohne erhebliche Montagekosten mit den Apparaten häufig von einer Meßstelle zur anderen zu ziehen und an ein und derselben Stelle zeitlich auseinanderliegende Messungen vorzunehmen. Die Genauigkeit konnte nur in einem Falle und zwar am Dampfverbrauch der Turbinen nachgeprüft werden. Sie betrug dabei 1,4 %.

Für die Untersuchung über den Verbleib der erzeugten Dampfmengen war es von großem Vorteil, daß man über den Verbleib des größten Teiles derselben, nämlich den Verbrauch der Turbinen eine fortlaufende Betriebskontrolle einrichten konnte. Das Meß- und Rechnungsverfahren, durch welches man für jeden Tag der Untersuchungszeit die von den Turbinen verbrauchten Dampfmengen erhielt, beruhte auf einer Beobachtung des Dampfzustandes vor den Düsen und wurde von mir in der Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen 1912 Seite 442 ausführlich beschrieben. Zahlentafel 10, welche die so ermittelten Dampfverbräuche der Turbogeneratoren wiedergibt, zeigt im Monat Juli ein starkes Sinken des spezifischen Verbrauches. Dies rührt von einer durchgreifenden Reparatur und Reinigung der beiden Aggregate her, bei der sich besonders an der einen Maschine eine außerordentlich weit vorgeschrittene Verschmutzung und Zerstörung der Schaufeln herausstellte. Der indizierte Wirkungsgrad war demgemäß niedrig; er wurde zu 0,52 be-

Zahlentafel 10.
Dampfverbrauch der Turbogeneratoren.

	Turbine I				Turbine II				Vakuum in der Zentral-kondensation
	t	KW.-St.	kg/KW.-St.	Belastung %	t	KW.-St.	kg/KW.-St.	Belastung %	
November . . .	5 785	405 600	14,3	58,2	5 929	453 900	13,1	66,7	77 %
Dezember . . .	6 072	432 900	14,0	60,0	5 933	453 500	13,1	63,0	79 %
Januar	6 210	460 500	13,5	64,0	6 627	471 800	14,0	65,5	82 %
Februar	5 330	420 800	12,7	62,6	5 859	448 300	13,0	66,7	83 %
März	5 719	454 900	12,6	63,0	5 533	453 500	12,2	63,0	91 %
April	5 166	404 000	12,8	58,1	5 051	405 200	12,5	58,3	90 %
Mai	5 107	385 900	13,2	53,7	5 274	421 700	12,5	58,6	90 %
Juni	4 624	337 500	13,7	48,5	5 753	449 800	12,8	64,5	90 %
Juli	2 631	235 300	11,2	58,0	3 401	294 900	11,5	70,0	93 %
August	4 232	365 500	11,6	50,8	3 975	391 300	10,2	58,1	92 %

stimmt. Besonders nachteilig für den Betrieb war die festgestellte starke Verengung der Düsenquerschnitte, welche die Leistung der Turbinen herabsetzte. Bei Sinken des Kesseldruckes kam es infolgedessen häufig vor, daß die Turbinen in ihrer Tourenzahl stark abfielen und von der Zentrale aus das sofortige Abstellen einzelner großer Motore telephonisch verlangt werden mußte. Außer diesem Umstande war auch das schlechte Vakuum schuld an dem hohen spezifischen Dampfverbrauch. Durch Abschalten der Fördermaschinen von der Zentralkondensation und häufige Reparaturen an den Kondensatoren und Luftpumpen gelang es Ende Februar, das Vakuum auf 90—93 % zu heben. Die langen, genieteten Vakuumleitungen ließen jedoch diese Luftleere den Turbinen nur mit einem Verluste von 6—10 % zugute kommen. Unvorteilhaft war ferner die ungünstige Belastung. Wie Figur 19 zeigt, betrug die durchschnittliche Zentralenleistung nur 1700 KW. Wegen starker Stromstöße, welche von einem an die Zentrale angeschlossenen Walzwerke der Marthahütte herrührten, mußte jedoch noch außer den Turbinen eine

Kolbenmaschine dauernd mitfahren. Die höchste, einige Minuten auftretende Belastung wurde zu 2300 KW. beobachtet.

Wenn man den auf die erwähnte Weise ermittelten Verbrauch der Turbinen von den Kesselspeisewassermengen abzog, so blieb nur noch übrig, die Verteilung des Restbetrages auf die Kolbenmaschinen der Zentrale, den Kompressor und die Dampfheizung nachzuweisen. Da es im Interesse der Genauigkeit derartiger Differenzmethoden liegt, zunächst die kleinen Verbräuche einzusetzen, um dann die großen, verschmolzen mit dem Fehlerglied zu erhalten, so wurden zunächst die Heizdampfmengen und die Dampfmengen des Kompressors auf Grund der Hallwachsmessungen festgestellt, so daß als Restglied der Verbrauch der Kolben-

Zahlen-Ergänzung der infolge Messerdefektes

	Vakuum in der Zentral-Kondensation %	Luft-temperatur °C.	Speise-wasser *) t	Turbinen t
1.—9. November. . .	78	+ 7,0	5 765	3 442
10.—30. November. .	78	+ 5,5	(13 735)	8 272
Dezember.	79	+ 2,0	(20 400)	12 005
1.—24. Januar . . .	82	— 2,0	(17 810)	10 176
25.—31. Januar . . .	81	— 2,0	4 740	2 661
Februar.	83	+ 1,5	20 000	11 190
1.—24. März	91	+ 3,0	15 541	8 716
25.—31. März	89	+ 4,0	(4 710)	2 536
April	90	+ 6,5	(19 200)	10 217
1.—5. Mai	90	+ 8,0	(3 056)	1 696
6.—31. Mai	90	+ 13,0	15 144	8 685
Juni	90	+ 19,0	16 900	10 377
Juli	93	+ 19,5	16 100	6 032
August	92	+ 17,0	16 800	8 207

*) Die eingeklammerten Werte sind die ergänzten.

maschinen der Zentrale übrig blieb. Es ergab sich dabei, wenn man die sich von Monat zu Monat ändernden Betriebsverhältnisse in Bezug auf Vakuum, Überhitzung und Belastung berücksichtigte, eine befriedigende Übereinstimmung mit den Hallwachsmessungen. Die auf diese Weise durchgeführte Ermittelung der Dampfverteilung ist aus Zahlentafel 11 zu ersehen.

Dieselbe zeigt, wie die infolge Zählerdefektes fehlenden Werte der Speisewassermengen ergänzt wurden: Zur Feststellung der von dem Kompressor und den Kolbenmaschinen der Zentrale verbrauchten Dampfmengen wurde mit den für die übrigen Zeiten gefundenen spezifischen Verbräuchen gerechnet. An Undichtigkeitsverlusten wurden schätzungsweise 6 t/Tag, in den Monaten Dezember bis März 16 t eingesetzt. Die größeren Undichtheiten des Winters finden ihre Begründung in dem verstärkten durch die Längenänderung der Leitungen verur-

t a f e l 11.
fehlenden Angaben der Speisewassermengen.

Kompressor		Heiz-dampf	Undicht-heiten, Abblas-verluste	Speise-pumpen	Maschinen der Zentrale		
IPS.-St. isoth.	t	t	t	t	KW.-St.	t	kg/KW.-St
41 190	331	329	191	86	72 200	1 386	19,2
100 210	935	765	445	202	161 300	3 116	19,3
129 940	1 100	1 326	967	305	252 300	4 697	18,6
120 300	966	1 105	749	274	231 400	4 540	19,6
44 040	355	323	218	71	56 700	1 112	19,6
179 320	1 525	1 241	905	300	253 000	4 839	19,1
142 020	1 135	936	749	233	203 500	3 776	18,6
36 460	292	273	218	71	68 400	1 320	19,3
147 865	1 182	985	635	288	314 900	5 893	18,7
23 100	185	113	106	45	52 900	911	17,3
116 760	930	590	550	227	260 300	4 162	16,0
129 680	1 035	369	635	254	268 800	4 230	15,8
154 160	1 232	355	657	241	668 500	7 583	11,3
159 200	1 274	454	657	252	363 700	5 956	16,4

sachten Undichtwerden der Verbindungsflanschen. Der Messung der für Heizzwecke benötigten Dampfmengen wurde hier, wo dieselben nur einen geringen prozentualen Betrag ausmachten und infolge wenig ausgebreiteter Leitungen keine außergewöhnlichen Verluste zeitigten, geringere Aufmerksamkeit geschenkt als an der Flammrohrkesselanlage. Man beschränkte sich darauf, den Verbrauch einige Tage lang mit Hallwachsmesser zu verfolgen und für die übrige Zeit den Nutzwärmemengen entsprechend höhere oder niedrigere Werte einzusetzen.

Wie die Tabelle zeigt, ist der spezifische Verbrauch der Kolbenmaschinen der Zentrale noch ungünstiger als der der Turbinen. Einen Teil der Schuld trägt hier gleichfalls die ungünstige Belastung von durchschnittlich 70 %. Außerdem wurde neben der auf das Netz arbeitenden Maschine stets eine zweite unter Dampf gehalten und häufig zur Vermeidung von Wasserschlägen bei verminderter Tourenzahl halbe Tage lang in Gang gehalten. Die dafür beanspruchten Dampfmengen sind in den angegebenen, aus den Speisewassermengen errechneten Werten mit enthalten. Die Hallwachsmessungen lieferten dementsprechend geringere Werte von ca. 14 kg/KW.-Std. bei 70 % Belastung und 90 % Vakuum in der Zentralkondensation. Die Hauptursache des hohen Dampfverbrauchs dürfte jedoch in undichten Kolben, Ventilen und Stopfbüchsen zu finden sein. Derartige Undichtheiten sind aus den Diagrammen nur dann festzustellen, wenn sie vereinzelt auftreten, anderenfalls heben sich die Einflüsse gegenseitig auf. Durch Augenschein überzeugte man sich, daß tatsächlich an den Steuerorganen und Stopfbüchsen häufige grobe Undichtigkeiten auftraten. Da auch an den Fördermaschinen, wie später gezeigt werden soll, ähnliche Beobachtungen gemacht wurden, so müssen diese Verluste als typisch für den ganzen Dampfmaschinenbetrieb angesprochen werden. Die Untersuchungen lassen die Annahme berechtigt erscheinen, daß diese Verluste einschließlich der durch schlechtarbeitende Kondenstöpfe verursachten bei einer nicht sehr sorgfältigen Bewartung die Verbräuche durchlaufender Kolbenmaschinen um ca. 25 % verschlechtern können. Die daraus entstehenden

wirtschaftlichen Verluste sind auch bei niedrigsten Kohlenpreisen derart hoch, daß sich eine gewissenhafte Instandhaltung in allen Fällen bezahlt machen muß. Die mechanischen Wirkungsgrade der Maschinen wurden durchweg befriedigend gefunden.

Im Gegensatz zu allen anderen Ergebnissen zeitigten die

Figur 23. Elektrische Zentrale.

Dampfverbrauchsmessungen am Kompressor höchst befriedigende Resultate. Es ergab sich ein Verbrauch von 8 kg bei Kondensation, von 11,5 kg bei Auspuffbetrieb, bezogen auf die PS.-St. isothermischer Nutzleistung. Das sind 0,57 bezw. 0,83 kg/cbm (760 mm W.S.) angesaugte und auf 6 Atm. Überdruck verdichtete Luft. In Übereinstimmung mit diesen günstigen Werten wurde der isothermische Wirkungsgrad der Kompressoranlage

$$\eta = \frac{\mathfrak{N}_{\text{isoth}}}{\mathfrak{N}_{\text{i Dampf}}}$$

zu 0,69 bestimmt. Wie früher erwähnt, mußte bei der Ermittelung dieser Werte mit den volumetrischen anstatt mit dem Liefergrade gerechnet werden. Aber selbst wenn man in Hinsicht darauf mit einem Weniger der Leistung von 5 — 10 % rechnet, so bleiben auch dann noch die Zahlen als besonders günstig bemerkenswert.

Erwähnt möge hier die für den Betrieb wichtige Tatsache werden, daß spezifischer Dampfverbrauch wie Wirkungsgrad sich nur wenig mit der Luftförderung ändern, da die Regelung der Leistung durch Änderung der Umlaufzahl bei ungefähr gleichbleibender Füllung erfolgte und bei geringeren Leistungen in der Hauptsache nur die relativ größeren Wärmeverluste in den Zylindern den Dampfverbrauch hinaufzudrücken vermögen.

Der thermische Wirkungsgrad der Kompressoranlage, welcher das Verhältnis von isothermischer Nutzarbeit zu Wärmeinhalt der zugeführten Dampfmenge darstellt, errechnete sich ab Kessel zu 10,5 bei Kondensation, zu 7,3 % bei Auspuffbetrieb.

An die Zentralkondensation waren zu Beginn der Untersuchungszeit außer den Turbinen und Kolbenmaschinen der Zentrale auch der Kompressor und die Fördermaschinen angeschlossen. Da aber das erzielbare Vakuum zwischen 78 und 82 % schwankte, so wurde Mitte November Benjaminschacht, der von den drei Fördermaschinen die größten Dampfmengen beanspruchte, auf Auspuff umgestellt. Die Hoffnung, dadurch das Vakuum zu heben, erwies sich jedoch bald als trügerisch. Trotzdem ging man erst nach weiteren 2½ Monaten, als die Dampfverhältnisse infolge des starken Verbrauches der Turbinen und der hohen Kesselanstrengung immer unerquicklicher geworden waren, daran, Kondensatoren und Luftpumpen einer gründlichen Revision und Reparatur zu unterziehen. Das Resultat war, daß das Vakuum auf 89—93 % stieg. Ein wesentlich höherer Unterdruck konnte bei der hohen Kühlwassereintrittstemperatur von 20 — 30° C. nicht erwartet werden. Nunmehr stellte man auch die anderen För-

dermaschinen auf Auspuff um, da dieselben beim Treiben immer noch das Vakuum der Turbinen um 4 — 6 % verschlechterten, und letztere am Ende ihrer Leistungsfähigkeit angelangt schienen. Als man dann im Juli zur Öffnung der Turbinen schritt und eine alles Dagewesene übertreffende Verschmutzung feststellte, wurde man erst darauf aufmerksam, daß der unsachgemäße Betrieb der Zentralkondensation die Schuld daran trug. Das im Dampf der Kolbenmaschinen enthaltene Öl wurde nämlich durch einen Ölabscheider abgesondert und sollte durch eine kleine Pumpe, getrennt vom reinen Kondensat, abgezogen werden. Als nun einmal diese Pumpe defekt geworden war und infolge Überbeschäftigung der Schlosserwerkstatt nicht alsbald hatte repariert werden können, hatte man mit der Kondensatpumpe allein den Betrieb aufrecht gehalten und Kondensat und Ölwasser vereinigt. Später aber vergaß man diesen als Provisorium gedachten Zustand zu beseitigen, wobei das Verborgenbleiben des Fehlers durch einen Wechsel in der Betriebsleiterstelle begünstigt wurde.

Ich kann es mir an dieser Stelle nicht versagen, die vorgefundenen Betriebszustände der Zentralkondensation und der Turbinen zum Gegenstand einer kritischen Betrachtung zu machen. Denn sie beweisen klar und eindeutig den außerordentlichen Nutzen, den eine Betriebskontrolle mit sich bringt. Wenn dieselbe bald nach Aufstellung der Turbinen eingesetzt hätte, würde die mehr oder weniger gleichmäßig fortschreitende Verschlechterung der Dampfverhältnisse in ihrer vollen Höhe erkannt worden sein und hätte viel eher zu einer Öffnung und Reparatur führen müssen. Wenn weiter die Betriebskontrolle nur als Unterlage für umfassendere wirtschaftliche Untersuchungen gedient hätte, so hätte man sich schon viel eher davon überzeugen müssen, daß der Einfluß der Fördermaschinen auf das Vakuum viel geringer war als der schadhafte Zustand der Luftpumpen und Kondensatoren. Der

Schaden, welcher durch diese lückenhafte wirtschaftliche Überwachung entstand, ist mit einigen tausend Mark pro Monat nicht zu hoch eingeschätzt, wenn man bedenkt, daß der spezifische Verbrauch der Turbinen von ca. 13,8 kg/KW.-St. im Winter auf 11,0 kg/KW.-St. nach der Reparatur, also um mehr als 20 % zurückging. Der technische Fehler, der in der Vereinigung des Ölwassers mit dem Kondensate bestand, wäre wahrscheinlich nicht vermieden worden. Fehler haben aber das eine Gute, daß man aus ihnen lernen kann. Jedoch nur, wenn man ihnen nachgeht, ihre Ursachen und Folgen studiert und sie in ihrer ungefähren Höhe fixiert, können sie ihre nützliche Wirkung entfalten, und das ist nur durch eine Betriebskontrolle möglich.

Nachfolgend sei nun eine Zusammenstellung der einzelnen in der Batteriekesselanlage erzeugten Dampfmengen gegeben, bezogen auf die Erzeugung der Untersuchungszeit, Oktober 1911 bis August 1912.

	t	% der Dampferzeugung
Abblasverlust	4 550	2,2
Verbrauch der Speisepumpen . .	3 170	1,5
Undichtigkeitsverluste an den Leitungen und einem unbenutzten Aufzuge	3 790	1,8
Verbrauch der Turbinen zur Erzeugung von 9 024 200 KW.-St.	117 010	55,5
Verbrauch der Kolbenmaschinen der Zentrale zur Erzeugung von 3 453 100 KW.-St.	58 220	27,6
Verbrauch des Kompressors zur Erzeugung von 1 677 200 PS.-St.$_{is.}$ oder 3 750 000 cbm Druckluft von 5,6 Atm. Überdruck und 20° C.	13 770	6,5
Verbrauch an Heizdampf einschl. der dabei auftretenden Undichtheitsverluste	10 040	4,9

Von Interesse war die Frage, wie hoch sich im Betriebe die Wärmeverluste der Leitungen stellten. Dieselben wurden einmal aus den von E b e r l e*) gefundenen Werten durch Ausmessung der Oberflächen und ferner durch Versuche bestimmt. Dabei ergaben sich die Eberleschen Werte um 6 % niedriger, und zwar waren die Gesamtverluste aller Leitungen ausschließlich solcher, die lediglich Heizdampf führten, 19 Millionen W.E./Tag im Sommer, 21 Millionen W.E./Tag im Winter. In Teilen der den Kesseln zugeführten Wärmemengen sind dies 1,9 bezw. 2,1 %.

Wenn man nun fragt, welche für eine Umgestaltung oder Erweiterung der bestehenden Anlagen nützlichen Aufschlüsse die Untersuchung geliefert hat, so sind es hauptsächlich drei Punkte, an denen Reformen einzusetzen hätten: Die starke Anstrengung der Batteriekesselanlage, das ungünstige Vakuum und der gegenüber dem heutigen Stand des Turbinenbaues unverhältnismäßig hohe spezifische Verbrauch der Turbinen. Wie bereits bemerkt, empfehlen wir die Aufstellung einer Zweidruckturbine mit Wärmespeicher und Eigenkondensation. Dieselbe würde, soweit sie den Abdampf der Fördermaschinen ausnutzte, die Batteriekesselanlage entlasten. Ihre Leistung müßte so gewählt sein, daß ihre durchschnittliche Belastung 70 % nicht unterschritte und sie trotzdem in der Lage wäre, während des größten Teiles des Tages den Betrieb allein zu übernehmen. Um dies zu erreichen, müßte für die Wasserhaltungen ein bestimmter Betriebsplan aufgestellt werden, derart, daß ihre Tagesleistung in vier Perioden zerlegt wird, von denen immer eine längere mit schwacher Leistung von einer kürzeren mit verstärkter Leistung abgelöst wird. Während der Zeiten stärkeren Betriebes müßte dann eine der vorhandenen Turbinen der Zweidruckturbine zugeschaltet werden. Bei Ausführung dieses Projektes würde sich allerdings die Betriebsleitung auf die Unterhaltung dampf-angetriebener Fördermaschinen festlegen.

*) E b e r l e, Forschungsheft 78.

FÜNFTER ABSCHNITT.

Die Dampfverteilung der Flammrohrkesselanlage.

(Fördermaschinen, Heizungsanlagen.)

Im Sommer, wo für Heizung nur sehr geringe Dampfmengen verbraucht wurden, setzte sich der Dampfverbrauch in der Hauptsache zusammen aus dem für die Förderzüge der Fördermaschinen erforderlichen und den Undichtigkeits- und Kondensationsverlusten. Hierzu kamen noch an geringeren Beträgen

1. der Bedarf des Badehauses,
2. „ „ der Duplexpumpen,
3. „ „ der Imprägnieranstalt,
4. „ „ der Kesselspeisung,
5. „ Abblasverlust.

Der Dampfverbrauch der Fördermaschinen wurde zunächst mit dem Hallwachsapparat bestimmt. Diese Messungen krankten nun leider an dem Umstande, daß man durch sie nur den Verbrauch der einzelnen Lastzüge, nicht aber den der Seilfahrt, des Umsetzens der Schale und des Stillstandes erhalten konnte; denn hierfür wären die betreffenden Flansche viel zu weit bemessen gewesen. An jeder Fördermaschine wurden 50—70 Einzelzüge beobachtet. Der so ermittelte Dampfverbrauch ergab sich für

Mauve	zu 61,3	kg/Schacht-Ps.-St.	bei Auspuff
Benjamin . .	„ 30,3	„	
Gruschka . . .	„ 20,6	„	
Benjamin . .	„ 27,3	„	bei Kondensation
Gruschka . . .	„ 15,9	„	

Die Versuche fanden in der Weise statt, daß unmittelbar vor der betreffenden Maschine ein Meßflansch eingebaut und das Fortschreiten des Dampfzählers für jeden einzelnen Förderzug beobachtet wurde. Man führte die Messungen zu einer Zeit aus, während welcher fast ausschließlich normale Förderzüge erfolgten. Das Einhängen von Lasten wurde in der Regel vom Maschinisten selbst beim Treiben bemerkt, so daß die betreffenden Züge ausgeschieden werden konnten. Das Nettogewicht der Förderwagen wurde, wie bereits erwähnt, an einem besonderen Tage durch Wägung einer größeren Anzahl bestimmt. Der zur Auswertung der Zählerangaben erforderliche Dampfdruck wurde im Kesselhaus durch ein geeichtes registrierendes Manometer aufgeschrieben. Als Druckverlust zwischen Manometer und Meßflansch mußten je nach Länge und Durchmesser der Leitung Beträge von ca. 0,2 Atm. in Ansatz gebracht werden. Der Druck fiel häufig während der Förderung um mehrere Zehntel Atmosphären, wie bereits Figur 17 und 18 veranschaulichte, und zwar wurde beobachtet, daß der höchste Druck in der Regel erst gegen Ende der Pause erreicht wurde und er schon nach den ersten Hüben auf sein Minimum sank. Wo daher der Registrierapparat senkrechten Druckverlauf anzeigte, wurde stets mit $^1/_3$ Höhe gerechnet.

Um nun aus dem Speisewasserverbrauch eine Kontrolle der Hallwachsmessungen an den Fördermaschinen zu gewinnen, war es vor allem nötig, den Bedarf der Fördermaschine bei der Förderung selbst von den übrigen Dampfmengen zu trennen. Denn die Messungen mit dem Hallwachszähler konnten sich, wie ausgeführt, nur auf die einzelnen Lastzüge, nicht aber auf Seilfahrt, Umsetzen und Stillstand erstrecken. Möglichkeit zu dieser Trennung der Dampfverbräuche boten die Sonntage, an denen keine Förderung stattfand, auch die Seilfahrt fast Null war — es benutzten ca. 140 gegenüber 1100 Personen an Werktagen die Schale — die Maschinen jedoch dauernd unter Dampf gehalten wurden. Man konnte nun, indem man die verspeiste Wassermenge mehrere Sonn-

tage beobachtete, die reinen Stillstandsverluste der Fördermaschinen, vermischt mit den eingangs erwähnten fünf Verbräuchen, erhalten. Indem man dann den so gemessenen Wert mit einem dem gesteigerten Werktagsbetriebe dieser Verbraucher entsprechenden Zuschlag versah und von dem Wochentagsverbrauch absonderte, erhielt man denjenigen Verbrauch der Fördermaschinen, welcher hier mit Nettoförderdampf bezeichnet werde und einen Betrag darstellt, der, gemessen an der Maschine, lediglich zur Arbeitsleistung in den Zylindern aufgewendet ist, also keinerlei Stillstandsverluste enthält. Der Bruttoförderdampf ergibt sich dann als Summe des Nettoförderdampfes und der Stillstandsverluste.

Die Stillstandsverluste sind in ihrer absoluten Höhe für eine bestimmte Anlage lediglich abhängig von der Zeit, nicht aber von der Ausnutzung der Maschinen, gleichmäßige Instandhaltung der Leitungen und Maschinen vorausgesetzt. Sie bestehen nämlich aus Wärmeverlusten der Leitungen und Dampfzylinder nach außen hin und aus Undichtigkeiten. Die ersteren treten in annähernd gleicher Höhe bei Stillstand wie bei Förderung auf, solange nur die Maschinen unter Dampf gehalten sind. Dasselbe gilt von den Undichtigkeiten der Dampfleitungen. Die sich hieraus ergebende Folgerung, daß die während des Sonntags gemessenen Stillstandsverluste auch Werktags die annähernd gleiche absolute Höhe haben, kann um so unbedenklicher gemacht werden, als die reine Fahrzeit, während welcher die Maschinen tatsächlich in Bewegung sind, nur einen Bruchteil der gesamten Betriebszeit ausmacht.

Es wurde nun an vier Sonntagen des Juni die in der Flammrohrkesselanlage während einer Zeit von ca. 15 Stunden verdampfte Wassermenge durch Ablesung der Speisewassermesser bestimmt. Die Wasserstände der einzelnen Kessel wurden vor und nach dem Versuch beobachtet, und die gemessene Wassermenge mit einem der Höhendifferenz mal Wasserraumfläche entsprechenden Betrage korrigiert. Weiterhin wurden die früher erwähnten Eichkorrektionen angebracht. Sämtliche Dampfleitungen befanden sich in einem Zustande, wie sie dem Werktagsbetriebe des Juni entsprachen.

Als Sonntagsverbrauch wurde gemessen:

am 9. Juni 139 t/Tag
„ 16. „ 150 „

am 23. Juni 163 t/Tag
„ 30. „ 137 „
Im Mittel 147,5 t/Tag.

Die Werte weisen ein Steigen bis zum 23. Juni auf. In der darauf folgenden Woche wurde die sich vom Mauveschacht abzweigende große Heizdampfleitung ausgebessert und grobe Undichtigkeiten abgestellt. Hierauf ist der geringere Dampfverbrauch während des letzten Versuchstages zurückzuführen.

Um nun von der gemessenen Dampfmenge eines Sonntags auf den Dampfverbrauch eines Werktages abzüglich Nettoförderdampf schließen zu können, müssen, wie erwähnt, noch Zuschläge gemacht werden, die dem gesteigerten Werktagsbetriebe der eingangs erwähnten fünf Verbraucher Rechnung tragen. Die Summe der Zuschläge ergab sich zu 33,1 t. Der Dampfverbrauch eines Werktages im Juni abzüglich Nettoförderdampf stellte sich dann auf 147,5 + 33,1 = 180,6 t/Tag.

Der Verbrauch des Badehauses an einem Werktage, am Badehause gemessen, wurde im Sommer mittels Hallwachsmessers zu 18 t/Tag trockenen Dampfes bestimmt. Da Sonntags nur der vierte Teil der Wärmemengen benötigt werden, die geringere Beanspruchung jedoch eine Verschlechterung des Wirkungsgrades mitbringt, so kann mit einem Verbrauch von ca. 8 t/Tag trockenen Dampfes gerechnet werden. Der Zuschlag ergibt sich sonach zu 10 t trockenen oder bei einer geschätzten Dampfnässe von 6 % zu 10,6 t nassen Dampfes.

Der Betrieb der Duplexpumpen war im Juni so schwach, daß eine ganz überschlägliche Annahme vollauf genügt. Der Dampfverbrauch betrage 40 kg/PS.-St. Geleistet wurden durchschnittlich 21 PS.-St./Tag. Nimmt man weiterhin an, daß am Werktage doppelt so lange gepumpt wurde als an Sonntagen, so ergibt sich der Zuschlag zu 0,4 t/Tag nassen Dampfes.

Der Verbrauch der Imprägnieranstalt wurde nicht besonders gemessen. Es wurde jedoch ermittelt, daß der Wasserspiegel des Bassins sich täglich durch Vollsaugen der Hölzer und Verdunstung um 30 cm senkte. Dieser Fehlbetrag wurde beim Kochen durch Zuführen trockenen Dampfes wieder ersetzt. Frisches Wasser wurde nicht zugesetzt. Aus den Dimensionen des Bassins ergab sich hieraus eine in Form von Dampf zugeführte Wassermenge von 7,2 t/Tag. Berück-

sichtigt man noch den Dampfverlust während des Kochens, so wird man mit einem geschätzten Verbrauch von 11,0 t nassen Dampfes den tätsachlichen Verhältnissen nahe kommen. An Sonntagen ruhte der Betrieb ganz.

Der Verbrauch der Kesselspeisung hatte sich, wie oben erwähnt, zu 10,4 kg Dampf pro t verspeistes Wasser ergeben. Verdampft wurden Werktags ca. 200 t Dampf mehr, was einem Zuschlage von 2,1 t/Tag nassen Dampfes entspricht.

Der Abblasverlust eines Werktages hatte sich, wie oben erwähnt, zu 11,0 t/Tag nassen Dampfes ergeben. Es möge nun angenommen werden, daß während des gleichmäßigen Sonntagsbetriebes nur ca. 20 % dieses Betrages abgeblasen wurden, so daß sich der Zuschlag zu 9 t/Tag nassen Dampfes berechnet.

Um nun aus den Speisewassermengen den Bedarf an Nettoförderdampf für die Schacht-PS.-St. zu bestimmen, legen wir die Speisewassermessungen vom 18. bis 30. Juni zu Grunde. Bis zum 17. Juni war der eine der beiden Wassermesser defekt, was jedoch insofern die Richtigkeit der zuvor beschriebenen Sonntagsversuche nicht berührt, als während des Sonntags stets die Hälfte der Kessel abgeschaltet war und an den betreffenden Versuchstagen nur der intakte Wassermesser in Betrieb war. Vom 18. bis 30. Juni wurden nun verspeist 3924 t. Da diese Zeit drei Feiertage und zehn Werktage enthielt, so ergibt sich der Nettoförderdampf dieser Tage zu $3924 - (3 \cdot 147{,}5 + 10 \cdot 180{,}6) = 1675{,}5$ t. Geleistet wurden während der Zeit 42 070 Schacht-PS.-St. Der mittlere spezifische Verbrauch an Nettoförderdampf, bezogen auf sämtliche drei Schächte, ist sonach 39,8 kg/Schacht-PS.-St. nassen Dampfes.

Soll nun vergleichsweise der Nettoförderdampf auch aus den Ergebnissen der Hallwachsmessungen berechnet werden, so leuchtet ohne weiteres ein, daß der so errechnete Wert, abgesehen von Meßfehlern, um ein Erhebliches geringer ausfallen muß, nämlich um die für die Seilfahrt und das Umsetzen der Schale benötigten Mengen; denn da hier die eingehängten Lasten gleich den gezogenen sind, so wurde die

Gesamtschachtarbeit und damit auch das Produkt spezifischer Verbrauch mal Schachtarbeit gleich Null.

Schacht	Schachtarbeit vom 18. bis 30. Juni	Verbrauch nach Hallwachs kg/PS.-St.	t
Mauve . . .	6 158 PS.-St.	61,3	378
Benjamin .	19 247 „	30,3	584
Gruschka . .	16 663 „	20,6	343
			1305

Schlagen wir 6 % in Rücksicht auf die Dampfnässe zu, so ergibt sich ein Verbrauch von 1381 t nassen Dampfes. Die Abweichung der Hallwachs- von der Speisewassermessung beträgt demnach 294,5 t oder 17,6 %. Dieser Prozentsatz ist, wie vorgenannt, auf das Konto der Seilfahrt, des Umsetzens und von Meßfehlern zu setzen.

Wie Figur 22 zeigt, sind außer den Leitungen zu den Fördermaschinen noch vier weitere Dampfleitungen vorhanden,

1. die große Heizdampfleitung, welche vom Mauveschacht abzweigt,
2. eine kleine Heizdampfleitung zum Benjaminschacht,
3. die Leitung zum Badehaus,
4. die Leitung zu den Speisepumpen.

Durch Absperren dieser Leitungen erhielt man nun die Stillstandsverluste der Fördermaschinen allein, einschließlich der in den Kesselhausleitungen auftretenden Verluste zu 69,2 t nassen Dampfes.

Es war aus Betriebsgründen nur angängig, die beiden Heizdampfleitungen an zwei Feiertagen, dem 29. Juni und 21. Juli je 15 und 12 Stunden lang abzusperren und die während der Zeit verspeiste Wassermenge zu beobachten. Der auf 24 Stunden umgerechnete Verbrauch ergab sich dabei zu 78 bezw. 83 t, im Mittel also zu 80,5 t. Hierin sind neben den Stillstandsverlusten der Fördermaschinen die Verbräuche des Badehauses, der Speisepumpen und die Abblasverluste enthalten, welche nach früherem zu 11,3 t angenommen werden konnten. Von dem dichten Schluß der Absperrorgane zu den Heizdampfleitungen überzeugte man sich durch Befühlen der nach

einiger Zeit erkalteten Leitung sowie durch Augenschein. (Die Flanschverbindungen dieser Leitungen waren an zahlreichen Stellen undicht und bliesen, solange sie unter Druck standen.)

Um nun auch den Anteil der Heizdampfleitungen an den Sonntagsverbräuchen zu erhalten, konnte von einem sehr einfachen Verfahren Gebrauch gemacht werden. Da nämlich diese Anteile, abgesehen von dem ganz unbedeutenden Verbrauch der Duplexpumpen, nur aus Undichtigkeits- und Kondensationsverlusten bestanden, also konstant blieben, so brauchten die Leitungen nur einige Zeit abgesperrt zu werden, um durch Anwendung der Differenzmethode die Höhe ihres Verbrauches feststellen zu können.

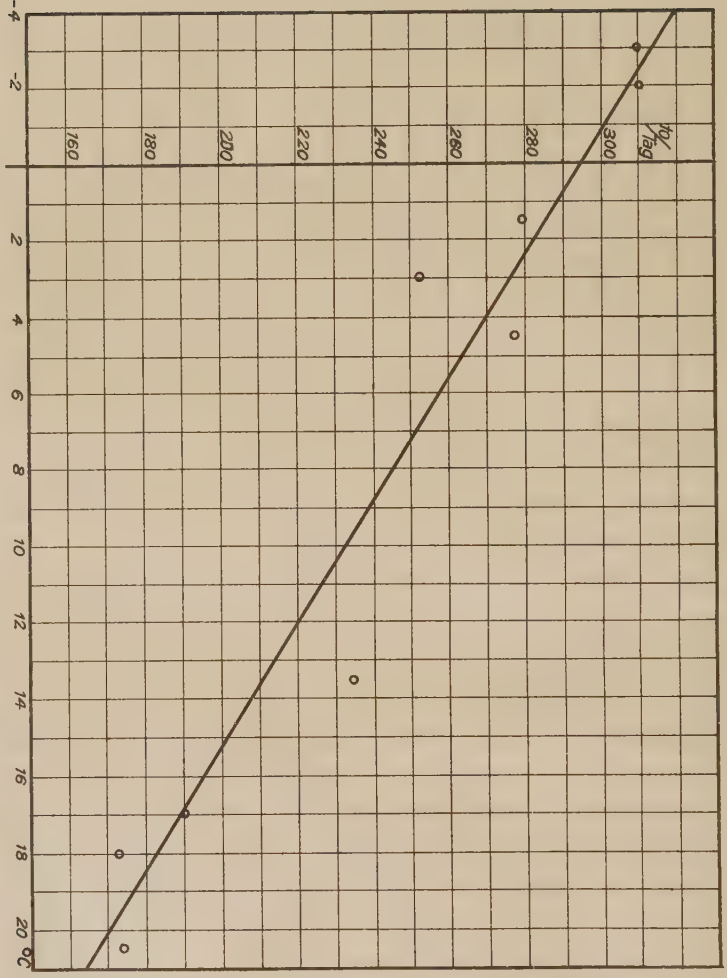
Für die kleine Heizdampfleitung am Benjaminschacht ergab sich ein Sonntagsverbrauch von 23,5 t, für die große ein solcher von 33 t in 24 St. Diese Messung erfolgte am 30. Juni, einige Tage nachdem, wie erwähnt, die letztgenannte Leitung ausgebessert war. Legt man stattdessen den durchschnittlichen Sonntagsverbrauch von 147,5 t zu Grunde, so ergibt sich ein Verbrauch der großen Heizdampfleitung von 43,5 t nassen Dampfes in 24 St. Wenn man zu diesem Werte den Verbrauch der Imprägnieranstalt und der Duplexpumpen aufschlägt, so kommt man auf einen Werktagsverbrauch von 54,9 t nassen Dampfes. Um diesen Wert zu kontrollieren, wurde der Verbrauch der Leitung in den Tagen vom 19. bis 21. Juni durch Hallwachsmesser bestimmt. Dabei ergab sich 48,5 t trockenen oder 51,4 t nassen Dampfes. Die Übereinstimmung der Messungen war also befriedigend.

Der auf die Heizungsanlagen entfallende Dampfverbrauch ergab sich auf folgende Weise: Da der Betrieb der Imprägnieranstalt das ganze Jahr hindurch gleichmäßig blieb, der Verbrauch der Duplexpumpen ohne jeden Einfluß war und man annehmen konnte, daß auch ein zu Zeiten verschiedener Zustand einzelner Leitungen bei dem großen Umfange der Anlagen den Gesamtverbrauch nicht bemerkbar umzugestalten vermochte, so blieb die Verdampfung der Flammrohrkesselanlage, bezogen auf die Zeit, nur von zwei Faktoren abhängig, erstens von der Schachtarbeit und zweitens

von der für Heizzwecke entnommenen Dampfmenge. Letztere aber mußte ihrerseits eine Funktion der Temperatur sein. Es war sonach

$$Q = k \cdot A + T \cdot f(t) + T \cdot C.$$

Hierin bezeichnet Q die Speisewassermenge in der Zeit T, k den spezifischen Verbrauch an Nettoförderdampf, A die Schachtarbeit in PS.-St., t die durchschnittliche Tagestemperatur und C eine Konstante, die dem das ganze Jahr hindurch annähernd gleich bleibenden Tagesverbrauch der eingangs genannten fünf Betriebe einschließlich Stillstands- und Leitungsverlusten entspricht. Für diejenigen Zeiten, in denen die Speisewassermesser intakt waren, konnte nun die Größe $f(t) + C$ berechnet und als Kurve Figur 24 dargestellt werden, wobei vorteilhaft von dem gefundenen Mittelwert für die drei Förderschächte $k = 39{,}8$ kg/PS.-St. Gebrauch gemacht werden durfte, da das Verhältnis der Schachtarbeiten auf den einzelnen Schächten ungefähr das gleiche war. C erhielt man dann direkt aus der Kurve für eine Tagestemperatur von 20^0, bei welcher angenommen wurde, daß kein Heizdampf mehr entnommen wurde, also $f(t) = 0$ war. Diese Berechnung der Heizdampfmengen ist insofern etwas zu günstig, als bereits in der Konstante C ein Betrag steckt, der den in unbenützter Heizungsanlage auftretenden Verlusten entspricht. Da sich jedoch an die Bestimmung der Heizdampfmengen keine eingehenden wirtschaftlichen Berechnungen knüpften, man sich aber von der ungefähren Höhe der auftretenden Verluste ein Bild verschaffen mußte, so wurde von dieser Vereinfachung Gebrauch gemacht. Die Ergänzung der infolge Wassermesserdefektes fehlenden Angaben erfolgte dann in der Weise, daß für andere Zeiten und Temperaturen die betreffenden Werte aus der Kurve herausgegriffen und durch Einsetzen in obige Gleichung Q bestimmt wurde. Eine Korrektion bez. des schwächeren Betriebes von Sonn- und Feiertagen anzubringen erübrigte sich, da man immer eine größere Zahl von Tagen zusammenfaßte. Die



Figur 24. Die Abhängigkeit des Dampfkonsums von der Tagestemperatur. Beobachtet an der Flammrohrkesselanlage.

zahlenmäßige Ermittelung der fehlenden Angaben der Speisewassermengen ist aus Zahlentafel 12 zu ersehen.

In den ersten Monaten der Untersuchungszeit fuhren die Fördermaschinen teilweise auf Kondensation. Es war deshalb nötig für diese Perioden einen anderen spezifischen Verbrauch einzuführen. Die Messungen am Benjaminschacht hatten eine Verbesserung des Verbrauches um 10 %, die am Gruschkaschacht um 22,7 % ergeben. Da

Zahlentafel 12.

Ergänzung der infolge Wassermesserdefektes fehlenden Angaben.

	Luft-temperatur t °C.	Betrieb	Speise-wasser-menge *) Q t	Schacht-arbeit A PS.-St.	k kg/PS.-St.	k · A t	f (t) + C t	T {f (t) + C} t
Oktober . . .	+ 10,5	Kondensation	(10 655)	100 400	35,1	3 525	230	7 130
1.—11. Nov. .	+ 7,5	„	(4 031)	37 099	„	1 301	248	2 730
12.—27. Nov. .	+ 5,0	Auspuff	(6 250)	50 962	39,8	2 025	264	4 225
28.—30. Nov. .	+ 3,5		(1 284)	12 416	37,5	466	273	818
Dezember . .	+ 1,5	Gruschka und Mauve auf Kondensation	(12 800)	97 200	„	3 640	285	8 830
1.—13. Januar	— 0,5		(5 347)	39 351	„	1 475	298	3 872
14.—31. Januar	— 2,0		7 824	60 226	„	2 257	309	5 567
1.—7. Februar	— 3,0		3 011	22 546	„	845	310	2 166
8.—29. Februar	+ 1,5	Auspuff	9 478	84 033	39,8	3 345	279	6 133
1.—23. März .	+ 3,0	„	(9 857)	88 219	„	3 507	276	6 350
24.—31. März .	+ 3,0	„	2 896	22 168	„	882	252	2 014
1.—19. April .	+ 4,5	„	7 889	65 849	„	2 620	277	5 269
20.—30. April.	+ 8,5	„	(4 219)	39 195	„	1 558	242	2 661
1.—5. Mai . .	+ 7,5	„	(1 929)	17 319	„	689	248	1 240
6.—31. Mai . .	+ 13,5	„	9 489	85 542	„	3 400	234	6 089
1.—17. Juni .	+ 18,5	„	(5 140)	52 302	„	2 080	180	3 060
18.—30. Juni .	+ 18,0	„	3 924	42 088	„	1 675	173	2 249
1.—18. Juli . .	+ 19,0	„	(6 030)	71 417	„	2 840	177	3 190
19.—31. Juli .	+ 20,5	„	4 226	49 222	„	1 957	174	2 269
August	+ 17,0	„	10 824	124 399	„	4 950	189	5 874

*) Die eingeklammerten Werte sind die ergänzten.

angenommen ist, daß die Verbesserung des Verbrauches an Nettoförderdampf durch eine Verschlechterung der Stillstandsverluste, die von größeren Undichtigkeiten an den Steuerungsorganen und Abkühlungsverlusten herrührt, teilweise aufgehoben wird, so wurde im Mittel nur mit einer Verbesserung von 12 % gerechnet, wenn alle Maschinen, von 6 %, wenn nur Gruschka und Mauve auf Kondensation fuhren.

Zusammengestellt ergibt sich die Dampfverteilung der Flammrohrkesselanlage während eines Werktages im Juni, wie folgt:

Abblasverluste	11,0 t
Verbrauch der Kesselspeisung	3,6 t
Stillstandsverluste der Fördermaschinen	69,2 t
Nettoförderdampf für 4209 Schacht-PS.-St.	167,5 t
Verlust in der kleinen Heizdampfleitung	21,5 t
Verlust in der großen Heizdampfleitung	39,5 t
Verbrauch an Heizdampf *)	6,0 t
„ der Duplexpumpen	0,8 t
„ der Imprägnieranstalt	11,0 t
„ des Badehauses	19,1 t
Verspeist	345,2 t

Bezogen auf die ganze Untersuchungszeit, Oktober 1911 bis August 1912, setzten sich die Verbräuche, wie folgt, zusammen:

	t	%
Verbrauch der Kesselspeisung	1 320	1,0
Abblasverluste (273 Werktage à 11,0, 63 Feiertage à 2,0 t)	3 140	2,5
Stillstandsverluste der Fördermaschinen einschl. der Verluste an den Leitungen im Kesselhause (336 Tage à 70,3 t) **)	23 600	18,6
Nettoförderdampf aus Zahlentafel 12	45 040	35,4
Verluste in der kleinen Heizdampfleitung (336 Tage à 21,7 t) **)	7 280	5,7
Verluste in der großen Heizdampfleitung (336 Tage à 39,6 t) **)	13 300	10,5
Verbrauch der Duplexpumpen 13 300 PS.-St. à 40 kg	530	0,4

*) Dieser Betrag steigt im Winter bis auf 150 t.

**) In Hinsicht auf die größeren Wärmeverluste des Winters wurden zu den im Juli ermittelten Werten Zuschläge von 1,1 bezw. 0,2 bezw. 0,6 t/Tag gemacht.

	t	%
Verbrauch der Imprägnieranstalt 273 Werktage à 11 t	3 010	2,4
Verbrauch des Badehauses 273 Werktage à 19,1 t, 63 Feiertage à 8,5 t	5 750	4,5
Heizdampf (Restglied)	24 130	19,0
Verspeistes Kesselwasser	127 100	100,0

Die Undichtigkeits- und Kondensationsverluste machen, wie vorstehend ausgeführt, täglich 131,6 t aus. Der sich hieraus ergebende Wirkungsgrad der Dampfübertragung betrug 0,61 bis 0,72. Besonders unwirtschaftlich erwies sich der Dampfantrieb bei einigen kleinen, wenig beanspruchten Anlagen. So hatte die kleine Heizdampfleitung außer Heizkörpern nur eine kleine Förderwagenausstoßvorrichtung zu versorgen. Diese war nur werktags während der Förderschichten in Betrieb; ihre effektive Leistung betrug ca. 3 PS.-St./Tag, war also ganz unbedeutend. Die Schiebersteuerung dieser Vorrichtung war ständig undicht, so daß auch im Stillstande enorme Mengen Dampf verloren gingen. Die oben angegebenen 23,5 t abzüglich 2 t Heizdampf sind in ihrem vollen Betrage als Verlust anzusehen.

Der Verbrauch an Heizdampf während der ganzen Untersuchungszeit ergab sich zu 24 130 t. Dieser Betrag ist gegenüber den abgegebenen Nutzwärmemengen unverhältnismäßig groß. In der Tat ergibt die Rechnung, selbst wenn man noch 100 % der abgegebenen Nutzwärme als Wärmeverlust durch mangelhaft verlegte Leitungen annimmt, einen direkten Dampfverlust von 12 400 t. Derselbe ist damit zu erklären, daß Wasserabscheider fast nirgends angebracht sind, der Dampf vielmehr die Heizkörper bei geöffneten Ventilen durchschlägt und ungehindert ins Freie ausströmt. Durch das verhältnismäßig einfache Mittel der Aufstellung mehrerer Kondenstöpfe und sorgfältigste Bewartung dieser und der bereits vorhandenen werden sich große Ersparnisse

erzielen lassen. An Kosten stehen demgegenüber nur die Löhne von ein oder zwei Monteuren, die an einem geringen Dampfverbrauch durch Gewährung von Prämien zu interessieren wären.

SECHSTER ABSCHNITT.

Der Energieverbrauch der Fördermaschinen.

Die Verbräuche während der Förderung.

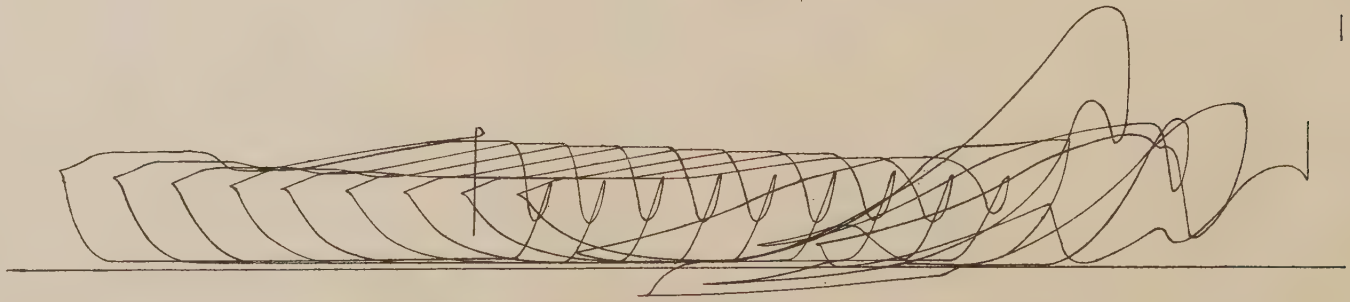
In Zahlentafel 13 sind die Betriebsverhältnisse der einzelnen Fördermaschinen mit den durch Hallwachsmesser ermittelten Verbräuchen an Nettoförderdampf zusammengestellt. Was die Höhe dieser Verbräuche betrifft, so kann

Zahlentafel 13.

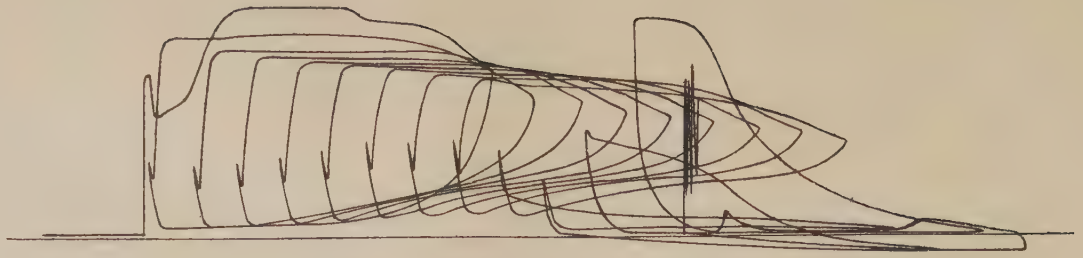
Betrieb der Fördermaschinen.

	Mauve	Benjamin	Gruschka
Maschinenart	Zwilling	Zwilling	Verbund
Zylinder-Durchmesser . . . . . mm	850	1100	1250/1700
Hub . . . . . mm	1570	2000	2400
Teufe . . . . . m	274	286	391
Nutzlast für 1 Zug . . . . . kg	1250	5000	5000
Umsetzen erfolgt	1 ×	1 ×	3 ×
Normale Zahl der Züge in 1 St. bei Förderschicht	33	23	22
Höchst beobachtete Zahl der Züge in 1 St. bei Förderschicht	60	36	36
Mittlere Leistung in 24 St. Schacht-PS.	23,6	89,0	63,5
Dampfzustand	Sattdampf 5 At. Auspuff	Sattdampf 7 At. Auspuff	Sattdampf 7 At. Auspuff
Nettoförderdampf bei Förderschicht kg/Schacht-PS.-St.	61,3	30,3	20,6

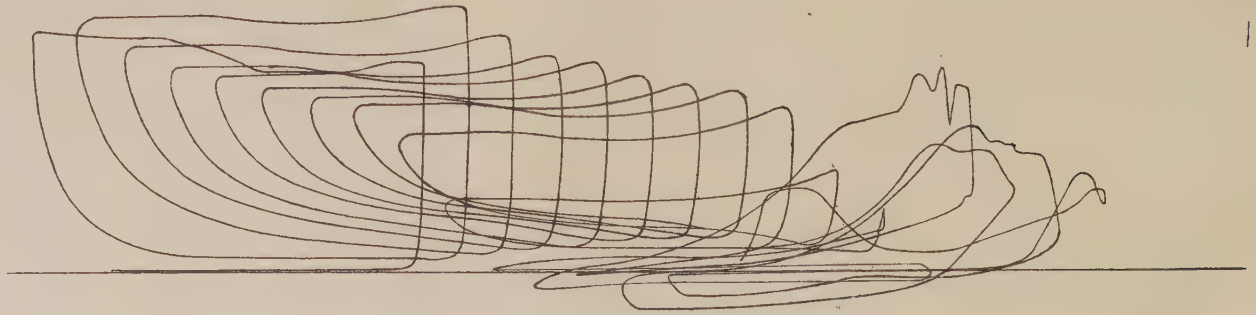
Figur 25. Fördermaschine Gruschkaschacht, Hochdruckzylinder.



Figur 26. Förderschacht Gruschkaschacht, Niederdruckzylinder.



Figur 27. Fördermaschine Benjaminschacht.



Figur 28. Fördermaschine Mauveschacht.

dieselbe bei Gruschka im Vergleich mit bekannt gewordenen Ergebnissen anderer mit Sattdampf fahrender Auspuffmaschinen als günstig bezeichnet werden, besonders dann, wenn man sich aus den Dampfzylinderdiagrammen Figur 25 und 26 überzeugt, daß die Maschine während der ganzen Förderzeit mit fast voller Füllung fuhr. An letzterer Tatsache wurde auch nichts durch den während der Untersuchungszeit erfolgten Einbau eines Schönfeldschen Fahrtreglers geändert. Unvorteilhaft unterschied sich die Maschine von den anderen durch ihre sehr schlechte Manöverierfähigkeit, welche gleichfalls nicht durch den Regler verbessert wurde.

Gänzlich unwirtschaftlich arbeitet Mauve. Schuld an dem besonders hohen Verbrauche dieser Maschine trifft neben dem Betrieb mit voller Füllung und nur ca. 5 Atm. Admissionsüberdruck das Fehlen der Kompression, besonders auf der einen Zylinderseite, und den Wärmeverlust in den Zylindern, welcher bekanntlich bei älteren Schiebermaschinen wesentlich höher liegen muß als bei Ventilsteuerung.

Die Stillstands-, Seilfahrts- und Umsetzverluste.

Wie im vorigen Kapitel gezeigt wurde, hatten sich die Stillstandsverluste allein zu 70,3 t nassen Dampfes pro Tag ergeben, was einer Verschlechterung des spezifischen Verbrauches um 20,4 kg/PS.-St. entspricht. Dieser Betrag setzte sich zusammen aus dem

Kondensationsverlust in den Leitungen,
„ in den Maschinen,
Undichtigkeitsverlust an den Leitungen und Wasserabscheidern,
„ an den Steuerorganen, Bremszylindern und Stopfbüchsen der Maschinen.

Von diesen konnte nur der erste mit einiger Genauigkeit bestimmt werden, indem man die Dimensionen der Leitungen feststellte und die Wärmeverluste auf Grund der Versuche von Eberle*) berechnete. Dabei ergab sich für eine Oberfläche der Kesselhausleitungen von 181 qm und eine solche der Fördermaschinenleitungen von 193 qm eine tägliche Wärmeabgabe von 432 000 W.E. im Sommer, was einer Kondensatmenge von 8,7 t entspricht. Davon entfallen 4,5 t auf die Leitungen zu den Fördermaschinen, 4,2 t auf die Leitungen im Kesselhause. Diese Beträge erhöhen sich im Winter um 25 %.

Es erscheint nun nicht gerechtfertigt, die Wärmeverluste der Kesselhausleitungen in voller Höhe den Fördermaschinenanlagen zur Last zu legen. Denn das Kesselhaus erzeugte in Rücksicht auf andere angeschlossene Verbraucher das 1,8 fache des Fördermaschinenverbrauches. Es dürfte deshalb erlaubt sein, von diesen Verlusten $\frac{0{,}8}{1{,}8} = 45\,\%$ in Abzug zu bringen. Der dann verbleibende Kondensationsverlust von 6,8 t im Sommer bezw. 8,5 t im Winter entspricht einer Verschlechterung des spezifischen Verbrauches um 2,2 kg/Schacht-PS.-St.

Selbst wenn man nun damit rechnet, daß die Kondensationsverluste an den Maschinen und Bremszylindern in derselben Höhe liegen, so geht doch daraus hervor, daß die Wärmeverluste im vorliegenden Falle nicht den überwiegenden Teil der Stillstandsverluste ausmachen. Diesen stellen vielmehr die Undichtigkeitsverluste dar, bei denen, wie man sich durch Augenschein überzeugen konnte, diejenigen an Wasserabscheidern, an den Steuerungsorganen, Stopfbüchsen und Bremszylindern gegenüber den Undichtheiten der Leitungen im Vordergrunde stehen.

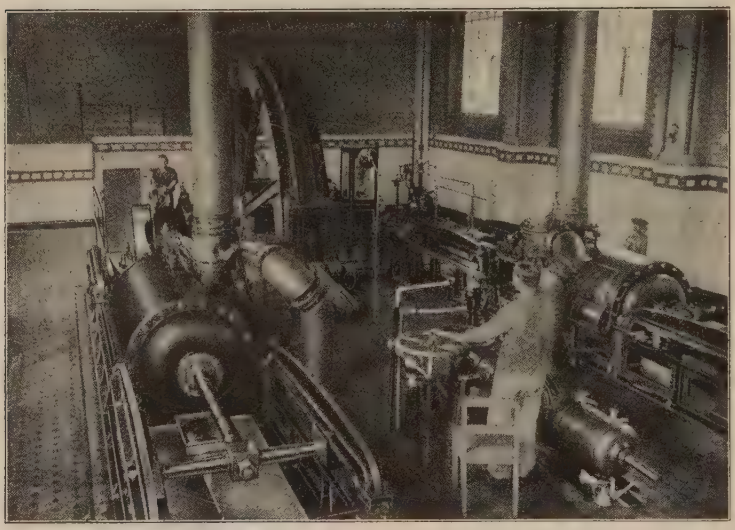
Der Verbrauch für die Seilfahrt und das Umsetzen der Schale hatte sich nach früherem zu 17,6 % des Nettoförder-

*) Eberle, Forschungsheft 78.

dampfes ergeben. Diesen Wert möchten wir jedoch wegen der Ungenauigkeit des benutzten Meßverfahrens mit großem Vorbehalt wiedergeben.

Der Einfluß der Belastung.

Die Belastung der Fördermaschine ist nicht in der Lage, auf die absolute Höhe der Stillstandsverluste einen Einfluß

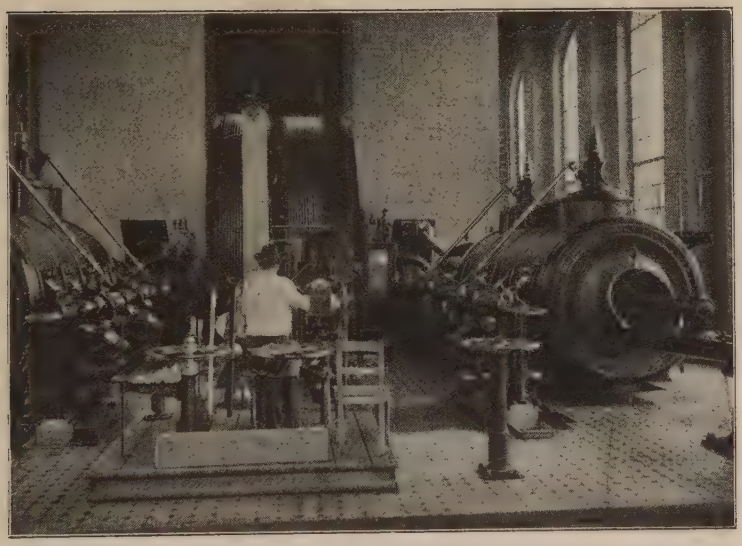


Figur 29. Fördermaschine Mauveschacht.

auszuüben. Diese bleibt vielmehr unter der Annahme, daß die Undichtigkeitsverluste sowohl bei Stillstand als bei Förderung auftreten, konstant. Da man nun gewohnt ist, die Verluste auf die geleisteten Schacht-PS.-St. zu beziehen, so geht daraus hervor, daß die Verschlechterung des spezifischen Verbrauches durch die Stillstandsverluste umgekehrt proportional der Belastung ist.

Anders ist die Sache bezüglich des Nettoverbrauches beim Treiben. Vergrößert man in Rücksicht auf die geringere

pro Tag zu hebende Nutzlast die Zeit eines Zuges, so wird ein Steigen der Verluste durch Eintrittskondensation die Folge sein. Denn diese sind proportional der Zeit. Nun treten zwar auch während des Stillstandes Kondensationsverluste auf. Diese sind jedoch wesentlich geringer, da sie lediglich die Wärmestrahlung und -Leitung der Zylinderwände nach außen hin zu decken haben. Während der Fahrt aber bewirkt das durch die Entspannung des Dampfes hervorgerufene hohe



Figur 30. Fördermaschine Gruschkaschacht.

Temperaturgefälle eine weit stärkere Kondensation. Dieser Nachteil dürfte durch die günstigeren Beschleunigungsverhältnisse, welche es ermöglichen, ohne Stau- oder Gegendampf die Maschine auslaufen zu lassen, nicht aufgehoben werden. Man tut daher gut, die normale Förderzeit bei voller Nutzlast beizubehalten und die Pausen zu vergrößern. In diesem Falle wird der spezifische Verbrauch an Nettoförderdampf derselbe bleiben.

Es ist nun zu untersuchen, um wieviel die Leistungsfähigkeit der Fördermaschinen für den vorliegenden Fall gesteigert werden kann. Vom betriebstechnischen Standpunkte hat die Beantwortung dieser Frage nur Wert, wenn man die höchste aufgetretene Tagesförderung mit der höchstmöglichen vergleicht. Denn darauf, wie stark die durchschnittliche Leistung von der maximal beobachteten abweicht, hat der Maschinenbetrieb keinen Einfluß. Im vorliegenden Falle betrug die durchschnittliche Tagesförderung 2805 t, die höchst beobachtete 4040 t. Eine Erhöhung der Leistung ist im äußersten Falle bis 6000 t/Tag möglich. Die Stillstandsverluste, bezogen auf die Schacht-PS.-St. würden sich damit um 32,5 % verringern.

Der Einfluß einer Kondensation.

Der Nutzen einer Kondensation ist in erster Linie von ihrem Kraftbedarf abhängig, und es hat sich durch die Untersuchungen des Dampfkesselüberwachungsvereins der Zechen im Oberbergamtsbezirk Dortmund*) herausgestellt, daß dieser Kraftbedarf für eine bestimmte Anlage ziemlich konstant ist und nur wenig mit der Belastung schwankt. Wird die Anlage nur halb ausgenutzt, so beträgt der Kraftverbrauch ca. 10 % weniger als bei Vollast. Diese Tatsache ist für alle Anlagen mit stark schwankender Leistung wie Walzwerke und Zechenbetriebe von größter Bedeutung.

Um nun zu untersuchen, ob im vorliegenden Falle der Kondensationsbetrieb einen Zweck hätte, ist zu ermitteln, für welche Dampfmenge die Anlage berechnet sein müßte, wie groß demgegenüber die tatsächliche Belastung und wie groß der dabei auftretende Kraftbedarf wäre.

Wenn man während des Ziehens einen Abfall des Vakuums um mehrere Prozent zuläßt und die Vakuumleitungen reichlich ausführt, wird es genügen, die Konden-

*) Glückauf 1908, S. 1464.

sationsanlage entsprechend der höchsten während eines größeren Zeitraumes, beispielsweise einer halben Stunde auftretenden Dampfmenge zu bemessen. Die Maximalleistung der Maschinen beträgt 501 Schacht-PS.-St., was einem Verbrauch an Nettoförderdampf bei Kondensation von ca. 16 t/St. entspricht. Die durchschnittliche Leistung, bezogen auf die ganze Untersuchungszeit einschließlich Seilfahrtspausen, betrug dagegen nur 134 Schacht-PS.-St. Die Kondensationsanlage wäre also nur zu 31,6 % ausgenutzt. Ihr Kraftbedarf würde ca. 48 KW. bei Vollast und 43 KW. bei 31,6 % Belastung betragen. In unserem Falle war der Dampfverbrauch pro KW.-St., reduziert auf den Wärmeinhalt des Sattdampfes der Flammrohrkesselanlage ca. 16 kg. Es ergibt sich dann ein Jahresverbrauch der Kondensation von 5750 t Dampf gegenüber einem Jahresverbrauch an Nettoförderdampf von 39 800 t. Also erst dann, wenn das Vakuum eine Verbesserung des Verbrauches um 14,4 % verursacht, beginnt eine Energieersparnis einzutreten.

Will man diese Tatsache unter Zugrundelegung der gleichen Ausnutzung verallgemeinern, so muß man zunächst für den Netto-Verbrauch der Fördermaschinen ca. 20 kg/Schacht-PS.-St. einen Wert, der dem Betriebszustande moderner Maschinen entsprechen dürfte, und einen spezifischen Verbrauch von 7 kg/KW.-St. einsetzen. Aber auch dann beginnt die Energieersparnis erst bei 12,2 % Verbesserung des Dampfverbrauches einzusetzen. 1 % Energieersparnis entspricht in diesem Falle 200 t/Jahr Dampfersparnis. Selbst wenn man eine Verringerung des Dampfverbrauches von 30 % für möglich hält, wobei eine Dampfersparnis von 3560 t/Jahr herausspringen würde, so könnten hieraus nicht einmal die indirekten Kosten der Kondensationsanlage gedeckt werden.

Aus diesen Überlegungen geht hervor, daß der Bau einer Kondensationsanlage für Fördermaschinen in den meisten Fällen durchaus unwirtschaftlich ist. Auch dort wo die

Fördermaschinen mit zahlreichen anderen Maschinen zusammen auf eine gemeinsame Kondensation fahren sollen, werden Ersparnisse auf Seiten der Fördermaschinen nicht gemacht werden, da der Quotient Kraftverbrauch pro t zu kondensierender Dampf oberhalb eines Stundendampfes von 22 t größer wird. Anders liegt natürlich der Fall, wenn eine derartige Anlage bereits vorhanden ist und mit Rücksicht auf die anderen Maschinen betrieben werden m u ß.

SIEBENTES KAPITEL.

Der elektrische Betrieb.

Die Messungen.

Die Betriebskontrolle der Verwaltung beschränkte sich darauf, lediglich die KW.-St.-Zähler der Generatoren regelmäßig ablesen zu lassen. Sonst konnte neben zwei ganz nebensächlichen Stromzweigen nur der an die Marthahütte abgegebene und der von der Lokomotivförderung unter Tage verbrauchte Strom durch eingebaute Zähler gemessen werden. Es war daher für das Entwerfen eines einigermaßen befriedigenden Bildes der Energieverteilung von grundlegender Bedeutung, daß die Siemens-Schuckert-Werke in dankenswertester Weise fünf Leistungszähler mit zugehörigen Strom- und Spannungstransformatoren, sowie einige Präzisionsmeßinstrumente zur Verfügung stellten. Wenn aber trotz dieser vortrefflichen Ausstattung mit Hilfsmitteln sich die vorgenommenen Messungen fast ausschließlich auf die Feststellung der Stromverteilung erstreckte, so lag dies an dem außerordentlichen Umfange der damit zu bewältigenden Aufgabe: Es gingen nämlich allein von der Zentrale 37 Kabel ab, die ihrerseits zu zahlreichen Verteilungsstationen führten. Weiterhin stand es auch nicht auf dem Programm der Untersuchung, Einzelmessungen auf Kosten der Erforschung des Gesamtbildes Zeit und Mühe zuzuwenden.

Die Messungen geschahen nun in der Weise, daß die Zähler nacheinander in die einzelnen Stromzweige gelegt

und darin einige Wochen bei täglich mehrmaliger Ablesung belassen wurden. Den dabei ermittelten Verbrauch bezog man auf die während derselben Zeit sich aus den Generatorenzählern ergebende Gesamterzeugung und erhielt so den Einzelverbrauch in Prozenten der letzteren. Indem man dann mit diesem anstatt mit dem absoluten Werte weiterrechnete, berücksichtigte man in gewissem Sinne die Schwankungen der Produktion während der Untersuchungszeit. Die so ermittelten Werte sind in Zahlentafel 14 wiedergegeben.

Zahlentafel 14.

Die Verteilung der elektrischen Energie.

	Jahresverbrauch KW.-St.	%
Umformer zur Erzeugung des Erregerstromes der Kolbenmaschinen . . .	187 200	1,38
Pumpe für das Kühlwasser der Turbogeneratoren	27 100	0,20
Zentralkondensation	1 092 000	8,05
Pumpstation am Waldbach zur Förderung von Kesselspeise- und Kühlwasser	173 100	1,28
Umformer zur Erzeugung des Stromes für den Betrieb der Bekohlungsanlage und des Kettenrostes.	31 000	0,23
Beleuchtung	308 100	2,27
Wasserhaltung	5 716 900	42,12
Förderung	419 300	3,09
Bewetterung	687 500	5,06
Aufbereitung, Verladung	968 800	7,12
Spülversatz	185 000	1,36
Reparaturwerkstätten	43 800	0,32
Fremde Betriebe	3 201 500	23 61
Sonstiges	528 700	3,91
Gesamterzeugung	13 570 000	100,00

Eigenverbrauch der Krafterzeugungsanlagen.

Die Erzeugung des Erregerstromes für die Generatoren der Kolbenmaschinen erfolgte zeitweise durch den 70 PS.-, zeitweise durch den 100 PS.-Umformer. Da neben den Turbinen stets nur eine Maschine in Betrieb war mit Ausnahme des Monats Juli, wo die Turbinen repariert wurden, so gestaltete sich die Belastung dieser Umformer recht ungünstig. Der Verbrauch derselben erreichte daher durchschnittlich den sehr hohen Wert von 5,5 % der von den Kolbenmaschinen erzeugten Energie. Ähnlich stand es mit der Kühlwasserpumpe der Turbogeneratoren. Statt eines 17 PS.-Motors hätte ein Drittel der Leistung noch zum Antriebe ausgereicht.

Die Leistung der Zentralkondensation wird mit 60 t/St. angegeben. Die Dimensionen der Kühltürme und Antriebsmotore weisen jedoch auf eine viel geringere Leistung von ca. 43 t/Std. hin. Der höhere Wert soll anscheinend für den stark schwankenden Fördermaschinenbetrieb gelten, wo derartig große Dampfmengen nur einige Minuten lang vorkommen. Die tatsächlich auftretende Belastung betrug demgegenüber durchschnittlich nur 25 t/St. Der Kraftverbrauch von 5,0 KW.-Std./t ist für die geringe Ausnutzung nicht übermäßig.

Die Pumpstation am Waldbache arbeitete während des größeren Teiles der Untersuchungszeit mit sehr großen Rohrleitungsverlusten; später trat durch Verlegung eines größeren Rohrquerschnittes eine Besserung ein. Der Wirkungsgrad des größeren Pumpenaggregates wurde, bezogen auf die manometrische Förderleistung, zu 0,59 bestimmt.

Bevor die Bekohlungsanlage in Betrieb kam, lief mehrere Monate lang für den einzigen $^3/_4$ PS.-Kettenrostmotor ein vierzigpferdiger Umformer in der Zentrale. Wirtschaftlicher wäre es gewesen, den genannten Motor auf den für die Er-

regung bestimmten Umformer zu schalten. Der Jahreskonsum verteilte sich mit

12 100 KW.-St. auf den Kettenrostmotor,
18 900 KW.-St. auf die Bekohlungsanlage.

Der Energieaufwand für Licht.

Der angegebene Betrag schließt denjenigen Strom nicht mit ein, der zur Beleuchtung der Anlagen in und um den Aufbereitungsanstalten und der Verladung, sowie zur Beleuchtung aller Maschinenräume diente, welche elektrischen Antrieb aufwiesen. Denn dort standen stets besondere Lichttransformatoren, deren Energieverbrauch bereits in den für die betreffenden Betriebe aufgeführten Beträgen enthalten ist. Dagegen sind miteingeschlossen die elektrische Zentrale und die Kesselanlagen, deren Lichtstrom sich auf 45 900 bezw. 38 800 KW.-St. bezifferte.

Der Verbrauch der Wasserhaltung.

Während des ersten Vierteljahres der Untersuchungszeit ließ ich die Fahrzeiten, sowie die Stromstärken sämtlicher Wasserhaltungsmaschinen täglich aufschreiben. Nachdem dann später in die einzelnen Kabel nacheinander einige Wochen hindurch Stromzähler gelegt worden waren, konnte der Stromverbrauch der Wasserhaltung mit befriedigender Genauigkeit erhalten werden. Schwieriger lagen die Verhältnisse bei der Ermittelung der effektiven Förderleistung. Zur Wassermengenmessung stand nämlich nur ein gemauertes Bassin von ca. 50 cbm Fassungsvermögen zur Verfügung, in welches die Bergmanspumpen der 300 m-Sohle ausgossen. Da dieser Behälter sich innerhalb 10 Minuten nach dem Anlassen füllte, so war zu besorgen, daß die betreffende Pumpe während der Messung noch nicht die volle Leistung hergab. In der Tat zeitigten die Versuche, trotzdem nur während der zweiten 5 Minuten gemessen wurde, nur eine Förderleistung von 4,65 bezw. 3,89 cbm gegenüber 5,5 cbm/Min.,

die die Pumpen liefern sollten. Legte man den normal gemessenen Stromverbrauch zu Grunde, so ergab sich ein Wirkungsgrad, bezogen auf die geodätische Förderleistung von nur 0,64 und 0,54. Diese Werte erschienen nun, selbst wenn man den verschlechternden Einfluß des durch den Spülversatz verunreinigten Wassers auf Ventile und Steigleitung berücksichtigte, so niedrig, daß man sich gezwungen sah, auf die Verwertung dieser Ergebnisse zu verzichten. Es mußte daher überall mit der Nennleistung gerechnet werden.

Die Wasserhaltung 300 m-Sohle wurde während der ersten $3^1/_2$ Monate durch die Riedlerpumpe 200 m-Sohle, während des letzten Vierteljahres durch die neue Wasserhaltung 500 m-Sohle zu einem Teile entlastet. Diese verschiedenartigen Betriebszustände wurden bei der Berechnung des Stromverbrauches und der Förderleistung berücksichtigt. Die erhaltenen Werte sind aus Zahlentafel 15 zu ersehen.

Zahlentafel 15.

	Riedlerpumpe 200 m-Sohle	Bergmannspumpen 300 m-Sohle	25 PS.- u. 35 PS.-Pumpe im Felde der 300 m-Sohle	500 m-Sohle	
				Alte Wasserhaltung	Neue Wasserhaltung
Fördermenge cbm/Min.	1,5	5,5	—	1,5 u. 3,0	6,0
Förderhöhe . . . . . m	210	292 u. 300	—	195	485
$\eta = \frac{\text{Leistung in gehobenem Wasser}}{\text{Dem Motor zugeführte Leistung}}$	0,75	0,76 u. 0,75	—	0,70 u. 0,78	0,70
Geförderte Wassermenge . . cbm/Jahr	272 000	3 820 000	—	1 113 600	175 800
Eff. Arbeit in gehobenem Wasser PS.-St./Jahr	212 000	4 163 000	—	804 700	315 500
Stromverbrauch ab Zentrale KW.-St./Jahr	211 000	4 134 000	195 400	820 000	357 000

Mit einem Anteile von 42 % an der Stromerzeugung stellte die Wasserhaltung den größten Energieverbraucher der Grube dar. Ihr Stromkonsum beträgt mehr als die Hälfte des gesamten Eigenkonsums. Dem Gewichte nach ist die zu Tage gehobene Wassermenge das 4,15 fache der geförderten Kohle. Aus dieser Vorzugsstellung ergibt sich für die Betriebsleitung die Notwendigkeit, bei allen die Wasserhaltung betreffenden Projekten mit ganz besonderer Sorgfalt vorzugehen, da hier eine geringe Änderung des Wirkungsgrades die Rentabilität des ganzen Maschinenbetriebes zu beeinflussen in der Lage ist. Dies gilt besonders für die Wahl der Einheit der Pumpensätze, welche für die Belastung der Zentrale von maßgebendem Einfluß ist, sowie für den Betrieb des Spülversatzes, welcher die Wasserhaltung außerordentlich stark beansprucht. Roh geschätzt entfällt auf ihn 25 % des zu Tage geförderten Wassers.

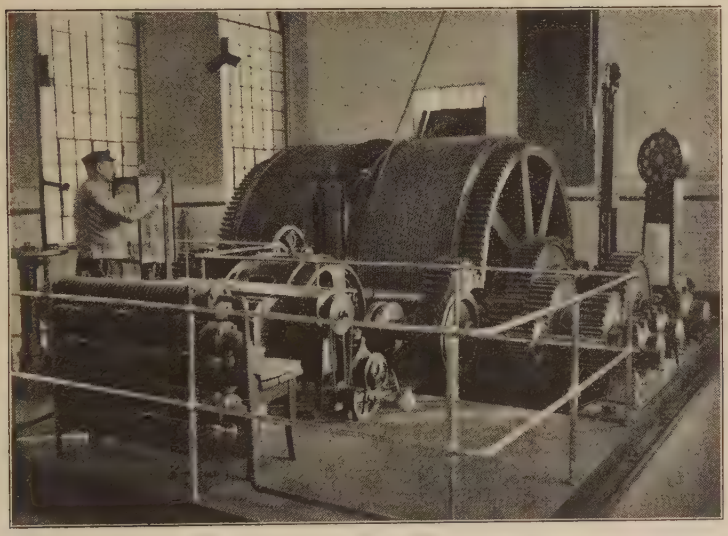
Der Verbrauch der Förderung.

Der Verbrauch der Förderung setzte sich zusammen aus dem Bedarf

1. des 36 PS.-Haspels Mauveschacht 400 m-Sohle,	Schacht-förderung
2. des 150 PS.-Haspels Richardschacht,	
3. der Lokomotiven 250, 300 und 400 m-Sohle,	Strecken-förderung
4. des 35 PS.-Haspels, Flöz V 300 m-Sohle,	
5. des 48 PS.-Haspels Glücksflöz 300 m-Sohle,	
6. eines 15 PS.-Spills 100 m-Sohle,	

Die Förderhöhe des 36 PS.-Haspels war 72,8 m, seine Nutzlast 625 kg. Der Wirkungsgrad der Anlage, bezogen auf die Differenz der Schachtarbeiten der gehobenen und eingehängten Lasten ergab sich zu 0,41. Jahresarbeit der gehobenen Lasten 11 520 Schacht-PS.-St., Jahresarbeit der eingehängten Lasten 2645 Schacht-PS.-St., Jahresenergieverbrauch einschl. Kabelverlust und Beleuchtung 17 615 KW.-St.

Der Förderhaspel Richardschacht förderte nach den verschiedensten Sohlen. Da auch die Lasten sehr variierten, so wäre die Feststellung der effektiv geleisteten Arbeit sehr umständlich gewesen. Ich beschränkte mich daher darauf, einige Zeit lang die Tagesverbräuche zu bestimmen und den Jahresbedarf dem Durchschnittswerte ent-



Figur 31. Elektrischer Förderhaspel, Richardschacht.

sprechend anzunehmen. Es ergaben sich ab Zentrale 44 850 KW.-St.

Der Verbrauch der Lokomotivförderung wurde das ganze Jahr hindurch von eingebauten Zählern der Grube gemessen. Die Energie wurde durch Umformer auf 120 Volt Gleichstrom übersetzt und betrug pro Jahr, gerechnet ab Zentrale 323 200 KW.-St. Diesem Werte steht eine Leistung von 1 221 000 tkm gegenüber. Bewegt wurden 1 420 000 t. Steigungen waren nicht zu überwinden. Eine Lokomotive leistete durchschnittlich pro Schicht 292 tkm.

Von den beiden Haspeln war der 48 PS.-Motor nur ganz wenig ausgenutzt; er hatte täglich ca. 40 Kasten zu fördern. Der 35 PS.-Haspel zog täglich ca. 330 Kasten. Die Förderhöhe war bedeutend geringer als die der Hilfsförderung Mauveschacht 400 m-Sohle. Da jedoch auf schräger Bahn gezogen wurde, so waren die Widerstande ungleich größer. Der Ver brauch wurde nicht gemessen; er konnte jedoch einschl. des Bedarfes eines kleinen Spills schätzungsweise gleich dem doppelten Verbrauche der Hilfsförderung gesetzt werden.

Der Verbrauch der Bewetterung.

Die Wettermessung am Ventilator Heinrichschacht erfolgte mit Flügelradanemometer im Endquerschnitt des Diffusors. Es ergab sich eine minutliche Wettermenge von 1960 cbm. Der Wirkungsgrad der Ventilatoranlage wurde zu 0,57 gemessen. Jahresstromverbrauch ab Zentrale 325 000 KW.-St.

Am Ventilator Ludwigschacht wurden die Wetter einmal an den Füllörtern und ferner im Wetterkanal unmittelbar vor der Maschine gemessen. Man erhielt auf diese Weise die durch den Schachtverschluß mitangesaugte Nebenluft, welche den bedeutenden Wert von 25 % der Ventilatorleistung besaß. Letztere wurde zu 3680 cbm/Min. bestimmt. Der Wirkungsgrad konnte nicht mit Sicherheit ermittelt werden. Er scheint jedoch um 0,50 zu liegen. Jahresstromverbrauch 362 500 KW.-St.

Der Verbrauch der Aufbereitung und Verladung konnte aus Zeitmangel nur im ganzen bestimmt werden. Desgleichen wurden Wirkungsgrade und nutzbar abgegebene Leistungen hier nicht untersucht.

Der Verbrauch des Spülversatzes setzte sich zusammen aus dem Bedarfe dreier Bagger, zweier Steinbrecher, einer Zentrifugalpumpe und eines kleinen Haspels. Für wirt-

schaftliche Berechnungen ist jedoch noch ein großer Teil des zum Betrieb der Wasserhaltung erforderlichen Stromes — ca. 25 % — dem Versatz zur Last zu legen.

An Reparaturwerkstätten waren vorhanden eine Schmiede, eine Schlosserei, eine Zimmerwerkstatt, sowie auf dem Außenschacht Ludwig eine zweite Schmiede.

Figur 32. Elektrische Lokomotivförderung.

Der Verbrauch fremder Betriebe.

An die Verwaltung der Grube angegliedert war der Betrieb einer Ziegelei mit einem Jahresverbrauche von 93 100 KW.-St. und der des Gutes Marienhof mit 13 400 KW.-St. Des weiteren bezog die der Kattowitzer Aktien-Gesellschaft gehörende Marthahütte den größten Teil ihres Stromes von der Ferdinandgrube. Angetrieben wurde daselbst ein 150 PS.-Umformer und eine umlaufende 860 PS.-Walzenstraße, welche durch starke Stromstöße ungünstig auf die elektrische Zentrale einwirkte. Der Jahresverbrauch betrug 3 095 000 KW.-St.

Sonstige Verbräuche.

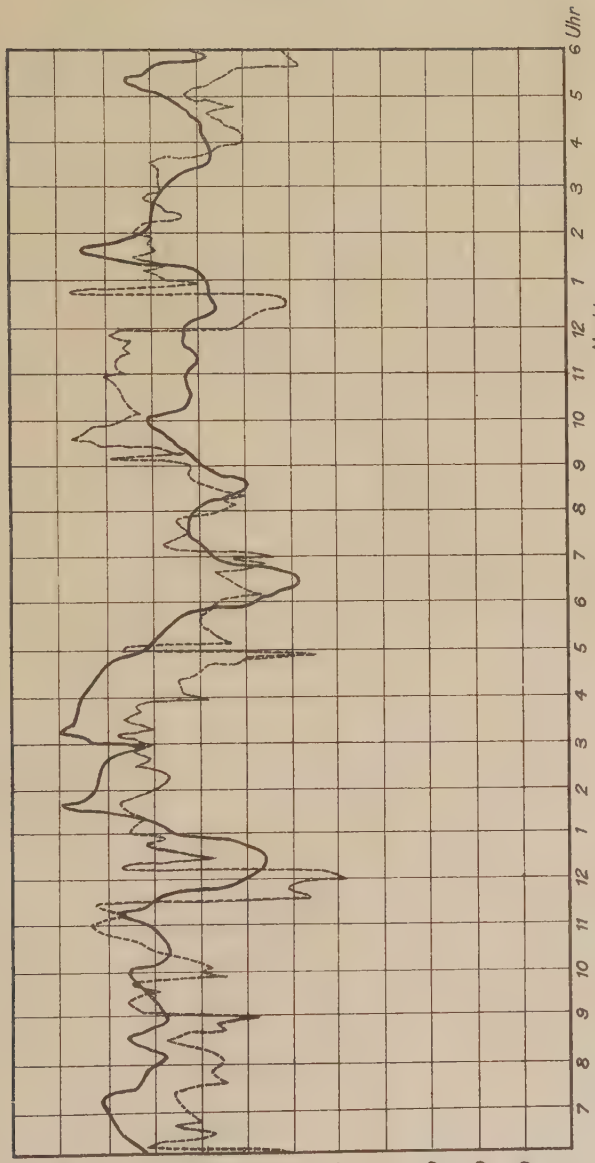
Neben einer dem Fuhrwerksbetrieb dienenden Haferquetsche mit 209 900 KW.-St./Jahr verbrauchte die elektrische Trocknung des Antriebsmotors der neuen Wasserhaltung 500 m-Sohle bedeutende Energiemengen. Diese betrugen 61 600 KW.-St. Der verbleibende Rest von 3,42 % der Gesamterzeugung stellt das Fehlerglied dar, welches einen Maßstab für die Genauigkeit des angewandten Meßverfahrens liefert.

Kabelverluste.

Die Kabelverluste sind in den angegebenen Verbräuchen eingeschlossen. Sie konnten experimentell nicht bestimmt, sondern mußten aus den Leitungsdimensionen berechnet werden. Dabei ergaben sich dieselben durchweg als gering, so bis zur Wasserhaltung 300 m-Sohle nur zu 2 %.

Die Belastungskurve.

Der Tag und Nacht durchlaufende Zechenbetrieb drückt der Zentrale eine bei weitem günstigere Belastungskurve auf, als sie beispielsweise ein Elektrizitätswerk zeigt. Der Einfluß des Lichtstromes, der dort die höchsten Spitzenverbräuche verursacht, spielt hier nur eine ganz unbedeutende Rolle und wird durch den glücklichen Umstand, daß der Förderbetrieb nachts schwächer ist und das Stillsetzen eines Teiles der Aufbereitung erlaubt, sogar gänzlich kompensiert. Der Eigenverbrauch der Krafterzeugung, der Betrieb der Wasserhaltung und der Bewetterung ist an und für sich ein vollkommen gleichmäßiger, so daß als störendes Element lediglich die Arbeitspausen der Förderung, Aufbereitung, des Spülversatzes und der angeschlossenen fremden Betriebe aufzutreten brauchte. Diese Pausen liegen überall ziemlich gleichmäßig zwischen $4^3/_4$ und $6^1/_4$ Uhr früh, sowie zwischen $4^1/_4$ und $7^1/_4$ Uhr abends. Die in Figur 33 wiedergegebenen Tageskurven zeigen deutlich, daß zu diesen Zeiten der Betrieb



Figur 33. Belastungskurven der elektrischen Zentrale.

schwächer ist. Bedeutungsvoller als dieser Umstand aber sind die außerordentlich starken und plötzlichen Belastungsänderungen, die besonders aus der einen mittels registrierenden Wattmeters aufgenommenen Kurve gut ersichtlich sind, während der andere, aus Zählerablesungen ermittelte Linienzug diese Schwankungen mehr oder weniger verwischt wiedergibt. Die vier großen Belastungsstöße um $6^1/_4$, $12^1/_4$, 5 und $12^3/_4$ Uhr sind offensichtlich Anlaßströme und rühren von dem großen Walzwerksmotor der Marthahütte her. Die durch die Wasserhaltungsmaschinen verursachten Schwankungen sind weniger erheblich. Nur der große Motor der neuen Wasserhaltung 500 m-Sohle muß sich mit seinen 875 PS. wieder kräftiger äußern. Die Wahl einer derartig großen Einheit wird von der Zechenverwaltung damit erklärt, daß die Pläne zur weiteren Erschließung der Grube nach erfolgter Ausführung größere Zuflüsse der 500 m-Sohle wahrscheinlich machen. Die gesamte von der Wasserhaltung benötigte Leistung von durchschnittlich 650 KW. verteilt sich somit auf 6 Aggregate von je 90, 190, 465, 465, 465 und 875 PS. Es kann daher nicht schwer sein, einen Betriebsplan aufzustellen, bei dem der Energieverbrauch der Pumpen sich vorteilhaft in die Stromkurve der übrigen Verbraucher einfügt und die äußersten Belastungsspitzen auf das wünschenswerte Maß herabdrücken. Da ferner mit der fortschreitenden Erweiterung des elektrischen Betriebes auch die Stromstöße des Walzwerksmotors gegenüber der Grundbelastung an Bedeutung verlieren werden, so kann hier ausgesprochen werden, daß die bereits heute günstig zu nennende Belastungskurve eine weitere Besserung erfahren kann und bei richtiger Disposition und Überwachung der Anlage eine vorzügliche Rentabilität des Betriebes gewährleisten muß.

ACHTER ABSCHNITT.

Der Druckluftbetrieb.

Die Menge der täglich erzeugten Druckluft war in Figur 20 graphisch dargestellt. Desgleichen war die Preßlufterzeugung und der dabei auftretende Gesamtwirkungsgrad bereits zahlenmäßig aufgeführt worden. Es bleibt noch übrig die Verteilung der Druckluft und die dabei vorkommenden Verluste zu untersuchen.

Die Preßluftanlage dient neben einer weitgehenden Bewetterung mittels Düsen zum Antriebe von Bohrhämmern, Gesteinsbohrern, Schüttelrutschen, Haspeln und Pumpen. Da die Anlage erst seit zwei Jahren bestand, so war die Inanspruchnahme der Maschinenkraft bei der Kohlengewinnung eine stetig steigende. Dies drückte sich sowohl in der Produktion wie in der wachsenden Zahl der verwendeten Arbeitsmaschinen aus. Während des Untersuchungsjahres waren 77—103 Bohrhämmer in Tätigkeit, 4—13 Gesteinsbohrer, 12—29 Schüttelrinnen, 2—3 Haspel und 2 Pumpen in Tätigkeit. Über ihre Arbeitsleistung gibt Zahlentafel 16 Auskunft.

Wir hätten nun durch Einzelversuche vor Ort die spezifischen Verbräuche der Werkzeuge und Arbeitsmaschinen bestimmen können. Es zeigte sich jedoch gleich zu Anfang, daß die bei der Übertragung der Druckluft auftretenden Mengenverluste so bedeutend und die zur Bewetterung

Zahlentafel 16.

Bohrhämmer t Kohle	Gesteinsbohrer t Berge	Schüttelrutschen t Transport 15—16 m	Haspel t	Haspel Gehoben auf m	Haspel Bewegt längs m	Pumpen PS.-St.
554 000	31 500	295 000	22 700	5	11	800

mittelst Düsen verwandten Luftmengen so unverhältnismäßig groß waren, daß es vor allem nötig schien, die Undichtigkeitsverluste zu bestimmen und die Anteile des Düsenverbrauches einerseits und des gesamten maschinellen Betriebes andererseits an dem verbleibenden Betrage zu untersuchen. Über diese Arbeiten wurde bereits früher *) ausführlich berichtet: Die Versuche fanden an Sonntagen statt, an denen nicht mit Druckluft gearbeitet wurde. Es wurde der an den Windkesseln gemessene Leitungsdruck konstant

*) Schultze, Glückauf 1912, S. 1078.

Zahlen-

Monat	Arbeitszeit des Kompressors St.	Angesaugte Luft cbm	Undichtigkeitsverlust cbm	Undichtigkeitsverlust %
November . . .	635	1 910 000	480 000	25,1
Dezember . . .	560	1 770 000	428 000	24,2
Januar	627	2 328 000	480 000	20,6
Februar	646	2 424 000	464 000	19,2
März	649	2 456 000	486 000	19,8
April	649	2 011 000	396 000	19,7
Mai	646	1 850 000	313 000	16,9
Juni	594	1 686 000	367 000	21,7
Juli	685	1 981 000	541 000	27,3
August	678	2 057 000	532 000	25,8

gehalten und gleichzeitig die vom Kompressor hinzugepumpte Luftmenge bestimmt. Diese Luftmenge stellte dann ohne weiteres den Verbrauch der geöffneten Düsen einschließlich Undichtigkeitsverlust, bezw. bei geschlossenen Düsen den Undichtigkeitsverlust allein dar. Dabei ergab sich während des ersten Halbjahres ein Undichtigkeitsverlust von 8,4 bis 15,3 cbm/Min., bezogen auf Luft von 0 ° C. und 760 mm Q.S. und ein Verbrauch pro Düse ausschließlich Undichtigkeitsverlust von ca. 1,5 cbm/Min. Um nun ein Bild davon zu gewinnen, wie hoch sich der Luftverbrauch der Bewetterungsdüsen und der Undichtigkeitsverlust in Bezug auf die tägliche Ansaugeleistung stellte, wurden die tägliche Arbeitszeit des Kompressors und die Zahl der geöffneten Düsen fortlaufend aufgeschrieben. Die gesuchten Werte konnten dann für den beobachteten durchschnittlich herrschenden Leitungsdruck berechnet und in Zahlentafel 17 wiedergegeben werden.

Wie die Zusammenstellung zeigt, nimmt der prozentuale Betrag der Undichtigkeitsverluste trotz normaler Ausnutzung der Anlage außerordentlich hohe Werte an. Durch Versuche

tafel 17.

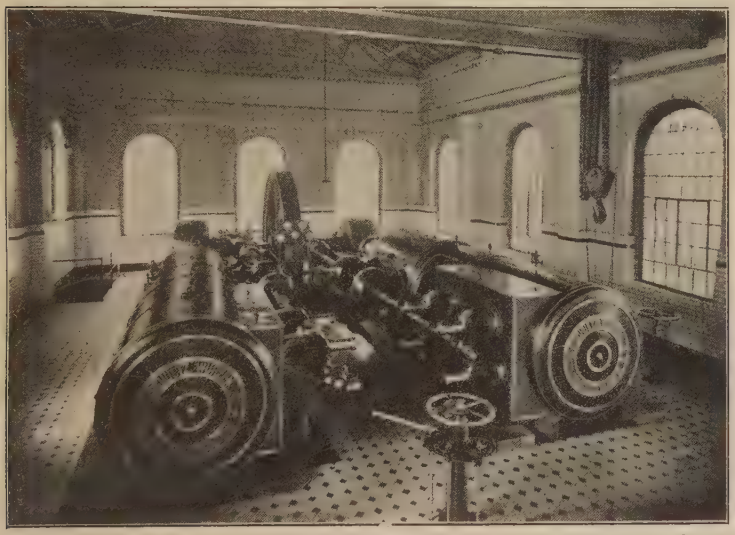
Düsenverbrauch		Verbrauch beim maschinellen Betrieb			Beim maschinellen Betrieb gewonnene Kohle
cbm	%	cbm	%	cbm/t	t
—	—	—	—	—	37 300
—	—	—	—	—	35 300
—	—	—	—	—	35 700
856 000	35,3	1 104 000	45,5	25	44 500
931 000	37,9	1 039 000	42,3	21	48 600
649 000	32,3	966 000	48,0	20	47 800
372 000	20,1	1 154 000	62,4	24	47 700
153 000	9,1	1 166 000	69,2	25	46 200
282 000	14,2	1 158 000	58,4	21	56 400
323 000	15,7	1 202 000	58,4	19	64 200

wurde festgestellt, daß die Hauptundichtigkeiten nicht an den Schachtleitungen, sondern an den kleinen Verteilungsleitungen mit ihren zahlreichen Abschlußorganen vor Ort auftraten. Bei der Ausdehnung des Rohrnetzes — 27 km Leitung — ist die Höhe des gemessenen Verlustes verständlich, besonders wenn man bedenkt, daß die Leitungen vor Ort gemäß dem fortschreitenden Kohlenabbau von Woche zu Woche weitergelegt werden müssen und eine Kontrolle der sachgemäßen Ausführung naturgemäß sehr erschwert ist. Aus diesem Grunde hatte auch der Versuch der Bergverwaltung, den Verlust durch besonders sorgfältige Bewartung herunterzudrücken, nur den Erfolg, daß derselbe für kurze Zeit von 25 % auf 17 % sank.

Der gleichfalls enorme Düsenverbrauch des ersten Halbjahres kam daher, daß zum Teil Düsen verwandt wurden, die auf der Grube selbst angefertigt waren und eine um ein Vielfaches größere Luftmenge hindurchließen, als erforderlich gewesen wäre, um den von der Bergbehörde geforderten Wetterstrom zu erzeugen. Ich schätzte damals die durch Einbau zweckentsprechenderer Düsen erzielbare Ersparnis mit 630 M./Monat ein. Wie das starke Sinken der Preßlufterzeugung nach dem Einbau neuer Düsen trotz weitersteigender Maschinenarbeit (Figur 20, Zahlentafel 17) zeigt, hat sich diese Voraussicht durchaus erfüllt. Trotzdem wies die später vorgenommene Messung immer noch den hohen Wert von 0,57 cbm/Min. und Düse auf. Die die Düse tatsächlich durchströmende Menge errechnete sich bei den verwendeten Durchmessern nur zu ca. 0,3 cbm. Dieser Unterschied erklärt sich damit, daß die Absperrhähne vielfach 20 bis 30 m von der Düse entfernt lagen und an der dazwischenliegenden Rohrleitung noch für Bohrhämmer Anschlüsse, welche zu Undichtigkeiten Anlaß gaben, vorgesehen waren. Da nun bei der Bestimmung der Undichtigkeitsverluste diese Absperrorgane in Rücksicht auf die Düsen geschlossen gehalten werden mußten, so wurde tatsächlich der Undichtigkeitsverlust

stets zu niedrig, der Düsenverbrauch um ebensoviel zu hoch bestimmt.

Eine weitere Unsicherheit des geschilderten Meßververfahrens lag darin, daß man den an einem Sonntage bestimmten Undichtigkeitsverlust dem Werktagsverbrauch gleichsetzen mußte. Bekanntlich liegen jedoch dann die



Figur 34. 485 PS.-Verbund-Kompressor.

Verhältnisse erheblich ungünstiger. Nach den Schüssen wird der Bergmann durch die nur langsam abziehenden giftigen Pulvergase an der Aufnahme der Arbeit gehindert. Daher ist es ihm nicht zu verdenken, daß er von einem so bequemen Mittel, wie es die Druckluft bietet, Gebrauch macht und durch Öffnen eines Hahnes oder gar durch Lösen einer Flanschenverbindung aus dem vollen Querschnitte bewettert. Dieses Verfahren ist zwar verboten, wird jedoch seitens der Werksleitung stillschweigend geduldet, solange der Kompressor nicht am Ende seiner Leistungsfähigkeit angelangt ist. Zu-

dem ist durch die weite Entfernung der Arbeitsplätze von einander eine wirksame Überwachung sehr erschwert. Die dadurch verursachte Luftverschwendung ist natürlich ungeheuer und findet ihre Grenze lediglich in dem starken Druckabfalle, welcher die Arbeiter zwingt, auf die in ihrer Nähe arbeitenden Kameradschaften Rücksicht zu nehmen. Solche plötzlichen Luftentnahmen, die wohl mit 100—200 cbm nicht zu hoch eingeschätzt sind, lassen sich nicht selten in der Druckluftzentrale beobachten. Sie treten mit einer gewissen Regelmäßigkeit zu den Zeiten auf, an denen die Steiger ausfahren. Wenn sie in ihrer Größe auch nicht den dauernd wirkenden Undichtigkeitsverlusten gleichkommen, so werden sie doch stets einige Prozente der Gesamtleistung ausmachen. Sie sind in Zahlentafel 17 nicht gesondert aufgeführt, da sie der Messung kaum zugänglich sind und sie ihrem Wesen nach eher zur Bohrarbeit gehören. Der dort in Spalte 7 angegebene Betrag umfaßt sonach die erzeugte Gesamtmenge abzüglich des dauernd wirkenden Undichtigkeitsverlustes und des Düsenverbrauches.

Um nun einen vergleichbaren Maßstab für die beim maschinellen Betriebe verbrauchten Mengen zu erhalten, wurden dieselben auf die Tonne dabei gewonnener Kohle bezogen. Daß dieser Wert von Monat zu Monat starke Schwankungen aufweist, kam abgesehen von den erwähnten Unsicherheiten davon, daß derselbe von dem Maße der verrichteten Nebenarbeiten, die aus Zahlentafel 16 ersichtlich sind, abhängt, sowie davon, in welchem Umfange Pfeilerabbau und Streckenbetrieb umgeht. (In unserem Falle wurden etwa 70 % Kohle am Pfeiler, 30 % im Streckenbetrieb gewonnen.) Es soll daher noch, um einen anderen vergleichbaren Maßstab zu gewinnen, versucht werden, den erzielten Gesamtwirkungsgrad ab Kompressor überschlägig zu bestimmen. Unter Benutzung des gemessenen Undichtigkeitsverlustes und eines berechneten Spannungsabfalles von durchschnittlich 0,2 Atm. ergibt sich der Wirkungsgrad der Luftleitung zu 0,77. Von

dem Verbrauche des maschinellen Betriebes gelangt jedoch nur ein Teil in die Werkzeuge, während ein anderer, wie erwähnt, zur Bewetterung aus vollem Querschnitte dient und ferner die zwischen Absperrorganen und Werkzeugen auftretenden Undichtigkeiten zu decken hat. Dieser Betrag, den wir zu ca. 20 % einschätzen, ist tatsächlich dem Bohrbetriebe und nicht der regulären Bewetterung zur Last zu legen, weil im Gegensatz zu anderen Antriebsarten die Leitung des Häuers dadurch erhöht, die Kosten der Kohlengewinnung verringert werden sollen. Der Totalwirkungsgrad eines Druckluftmotors kann günstigenfalls zu 30—40 % angenommen werden. Der höhere Wert gilt für Antriebsmotoren von Schüttelrinnen, Pumpen und Haspeln, während bei Hämmern die Stoßwirkung zwischen Kolben und Werkzeug, sowie zwischen Werkzeug und Arbeitsstück den Nutzeffekt erheblich verringert.*) Dann ergibt sich das Verhältnis von effektiver Leistung des Werkzeuges zu der auf den maschinellen Betrieb entfallenden isothermischen Nutzleistung des Kompressors zu 0,215. Um also das Werkzeug 1 PS.-St. leisten zu lassen, sind vom Kompressor 4,65 PS.-St. oder vom Kesselhause in unserem Falle 38 kg Dampf aufzubringen.

Weiterhin ist die Frage zu untersuchen, wie hoch sich der Nutzeffekt der Druckluft hinsichtlich ihrer Eigenschaft als Hilfsmittel der Bewetterung stellt. Wenn man annimmt, daß der weitaus größte Teil der Preßluft vor Ort verwendet wird, und auch die Hauptundichtigkeiten daselbst auftreten, so ist diejenige Arbeitsmenge als Nutzarbeit anzusprechen, die erforderlich wäre, um neben dem normalen Wetterstrom ein Luftvolumen, welches der vom Kompressor erzeugten Preßluft entspricht, durch die einziehenden Schächte und die Förderstrecken vor Ort zu saugen. Wollte man nun die zusätzlichen Strömungswiderstände der durch Düsen zu be-

*) Möller, Forschungsheft 37.

wetternden Strecken vernachlässigen, so wäre in die Leistungsformel

$$N_e = \frac{Q \cdot h}{75}$$

für h der halbe Wert der Depression des Ventilators einzusetzen. In Rücksicht auf diese Widerstände möge jedoch ein Zuschlag von 50 % gemacht werden. Für unseren Fall ergibt sich dann die Nutzarbeit der Bewetterungswirkung eines cbm Preßluft, reduziert auf 0 ° C. und 760 mm Q.S. zu 0,00013 PS.-St. Nun entspricht 1 cbm einer isothermischen Nutzarbeit von 0,07 PS.-St., sodaß sich der Wirkungsgrad dieser Art Bewetterung zu 0,19 % ergibt.

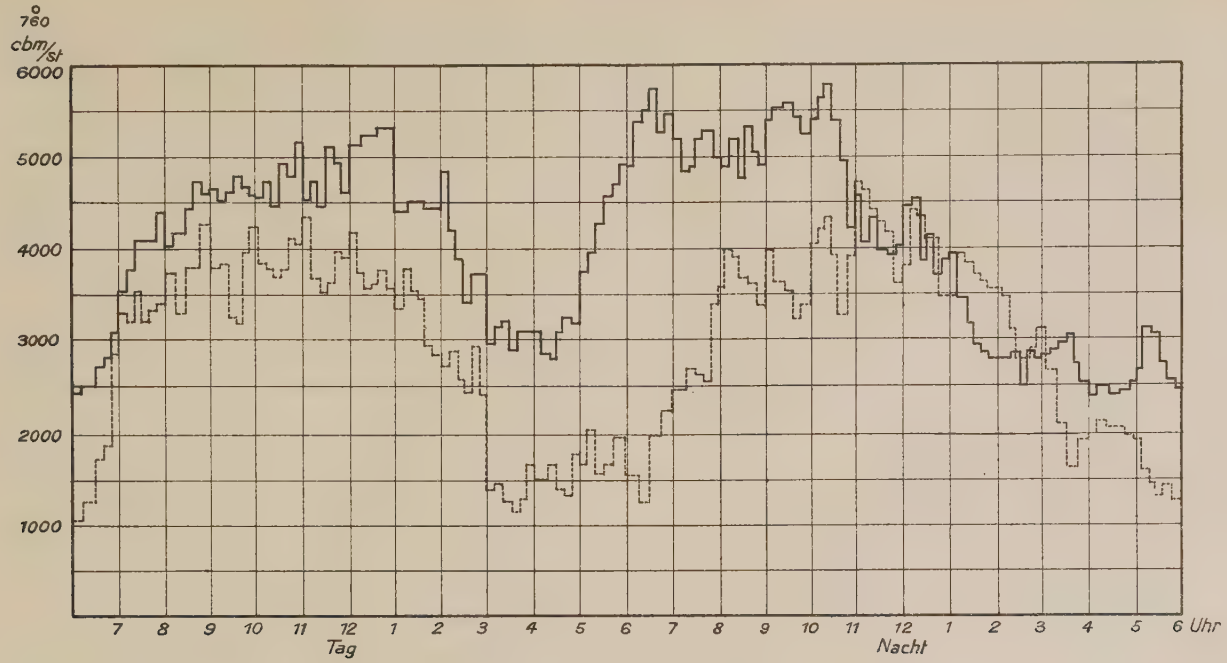
Die Wirkung der Düsen besteht nun nicht allein darin, dem betreffenden Ort frische Wetter aus dem Preßluftrohrnetz zuzuführen: „Von einer Hauptwetterstrecke aus, durch die frische Luft strömt, wird eine je nach Raum- und sonstigen Betriebsverhältnissen 10 bis 30 cm weite, beiderseits offene Leitung in die seitlich abzweigende zu bewetternde Strecke gelegt. An der Abzweigstelle wird durch eine Düse Druckluft in die Lutte geblasen. Die mit hoher Geschwindigkeit in das Rohr einströmende entspannte Druckluft reißt aus der Hauptwetterstrecke frische Luft mit sich fort und durchströmt mit ihr das Rohr. Die vor Ort verbrauchte Luft strömt außerhalb der Lutte zur Hauptwetterstrecke zurück und vereinigt sich hier mit dem Hauptwetterstrom.“*) Arlt hat nun nachgewiesen, daß der Wirkungsgrad dieser Vorrichtung äußerst gering ist und im günstigsten Falle kaum 2 % übersteigt. Für die Verhältnisse der Ferdinandgrube, wo Lutten von ca. 200 mm Durchmesser und Düsen von ca. 2 mm Durchmesser verwendet wurden und das Druckverhältnis um den Wert 6 lag, errechnete sich der Wirkungsgrad nach Arlt gar nur zu 0,2 %. Wenn man daher von Bergleuten zuweilen die Ansicht vertreten hört, daß die großen beim Preßluft-

*) Arlt, Forschungsheft 115.

betrieb auftretenden Verluste nicht ganz umsonst sind, sondern die Bewetterung unterstützen, so ist dem zu erwidern, daß die gesamte Bewetterungswirkung der untersuchten Anlage einschließlich Düsenbetrieb äquivalent einer von einigen Sonderventilatoren aufzubringenden effektiven Gesamtleistung von ca. 0,9 PS. war. Dabei ist noch zu bedenken, daß die Preßluft infolge ihrer Verunreinigung mit Zylinderöl nur unvollkommen bewettert.

Durch ein verhältnismäßig einfaches Mittel wird sich allerdings der Wirkungsgrad der Düsen steigern lassen. Die angezogenen Untersuchungen von Arlt lieferten die zunächst verblüffende Erscheinung, daß zum Ansaugen einer gewissen Luftmenge umsomehr Preßluft, bezogen auf 0^0 C. und 760 mm Q.S. erforderlich war, je höher das Druckverhältnis, d. h. je größer die der Druckluft innewohnende potentielle Energie war. Diese Erscheinung, welche Arlt nicht weiter interpretiert, findet ihre Erklärung darin, daß die zylindrische Form der Düsen bei hohen Überdrücken nur eine ganz unvollkommene Ausnutzung des Druckgefälles gestattet, da der Druck innerhalb der Düse nur bis zu einem sich aus dem kritischen Druckverhältnis ergebenden Werte expandiert und der Strahl nach seinem Austritt sich büschelartig nach allen Richtungen hin ausbreitet. Die dabei auftretenden starken Wirbelbildungen, verbunden mit stehenden Schallwellen beeinträchtigen naturgemäß die ejektorartige Wirkung sehr. Hier läßt sich durch Verwendung konisch erweiterter Düsen, die für das durchschnittlich herrschende Druckverhältnis zu berechnen wären, leicht Abhilfe schaffen. Daß man sich nach dieser Richtung hin jedoch nicht allzuviel versprechen darf, geht aus den Versuchen hervor, welche an Körtingschen Luftstrahlapparaten vorgenommen wurden.*) Diese gewährleisten eine gute Expansion durch Hintereinanderschalten mehrerer Düsen, von denen eine immer größer

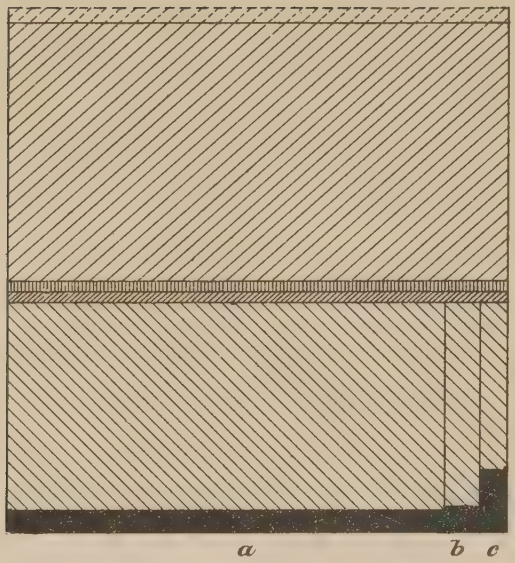
*) Dobbelstein, Glückauf 1912, S. 1277.



Figur 35. Die Drucklufterzeugung.

ist als die andere. Trotzdem erzielte man damit nur Wirkungsgrade von ca. 6 %. Außerdem machte sich der Apparat durch sein gellendes Pfeifen unangenehm bemerkbar.

In Figur 35 geben wir den Verlauf der Drucklufterzeugung über zwei verschiedene Tage hin wieder. Deutlich ist daraus die geringe Inanspruchnahme der Druckluftzentrale während der Seilfahrtspausen durch Düsenverbrauch und Undichtigkeitsverlust allein erkennbar.

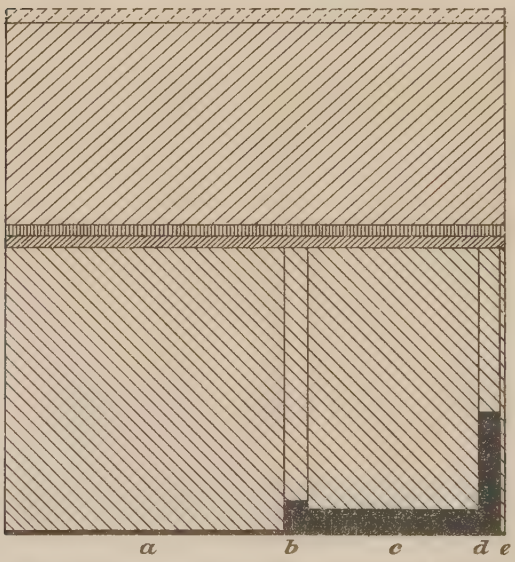


Batterie-kesselanlage.

Zeichenerklärung:

- Wärmewert des Speisewassers.
- Kesselverlust.
- Verbrauch der Speisung, Abblasverlust.
- Wärmeverlust der Leitungen.
- Verluste in den Maschinen Undichtigkeits-u. Abdampfverlu
- Nutzarbeit.

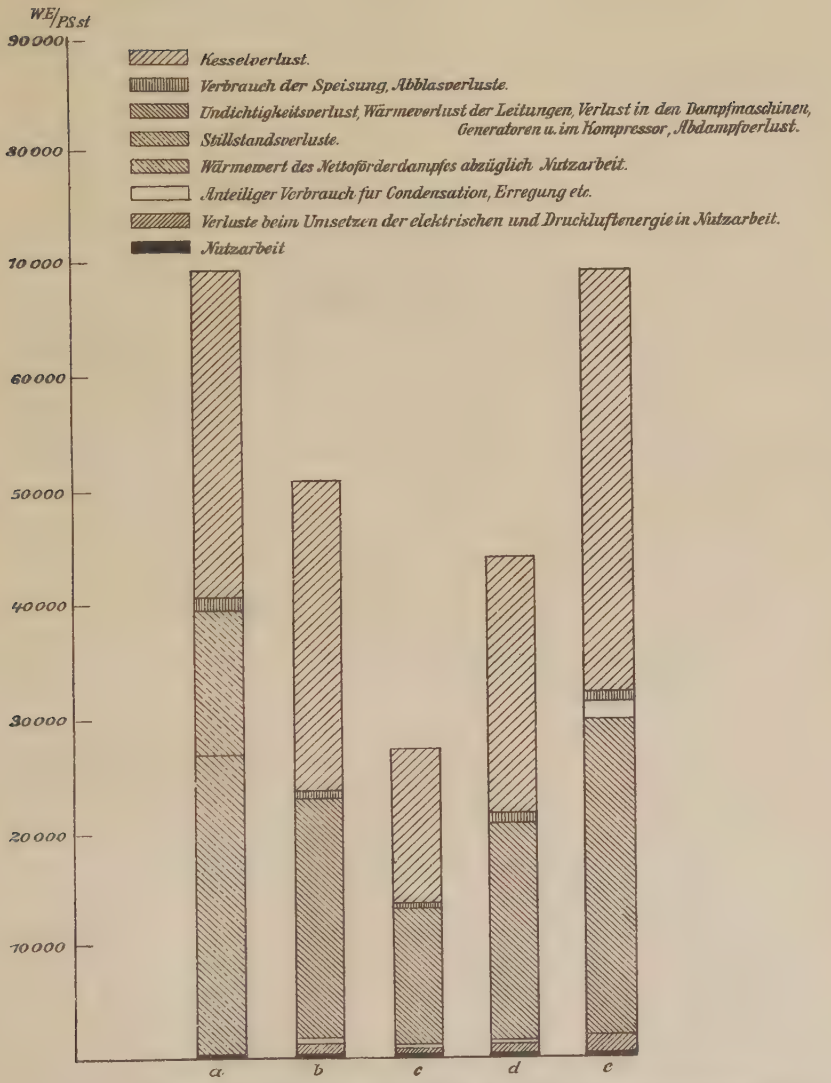
a: Stromerzeugung, b: isoth. Kompressionsarbeit, c: abgegebene Wärme der Heizkörper.



Flammrohr-kesselanlage.

a: Schachtarbeit, b: Nutzwärme des Badehauses, c: abgegebene Wärme der Heizkörper, d: Nutzwärme der Imprägnieranstalt e: Arbeit der Duplexpumpen in gehobenem Wasser.

Figur 36. Der Wärmeverbleib.



a: Schachtarbeit der Dampffördermaschinen, b: des elektr. Förderhaspels, Mauveschacht 400 m S.
c: Arbeit der Wasserhaltung in gehobenem Wasser, d: Bewetterung durch Ventilatoren
e: Maschinenarbeit beim Druckluftbetrieb.

Figur 37. Wärmeverbrauch pro PS.-St.

NEUNTER ABSCHNITT.

Der Kohlepreis.

Nicht nur für die nachfolgende Berechnung der Selbstkosten, sondern auch für die Beurteilung der vorgefundenen kraftwirtschaftlichen Zustände von grundlegender Bedeutung ist eine angemessene Einschätzung des Wertes der verfeuerten Kesselkohle. Denn die öfters zu Tage getretene geringe Sparsamkeit in Bezug auf den Energieverbrauch wird nur verständlich, wenn man erfährt, daß die Zechenverwaltung für ihre Berechnungen einen außerordentlich niedrigen Kohlepreis von ca. 1,60 M./t benutzte. Sie betrachtete also die verwendete geringwertige Staubkohle als schlechterdings unverkäuflich, da die Oberschlesische Kohlenkonvention als niedrigsten Preis dieser Sorte ca. 3,50 M./t normiert hatte. Tatsache war, daß zu Zeiten flauen Geschäftsganges zu diesem Preise kein genügender Absatz mehr vorhanden war und große Mengen auf die Halde gestürzt werden mußten, dort verwitterten und später als Spülversatzmaterial eingeschlemmt wurden. Auf diese Weise gingen jährlich ca. 20—30 000 t verloren. Aber auch zu anderen Zeiten schien der Verwaltung wenig an dem Verkaufe gelegen zu sein, da zu besorgen war, daß diese Sorte nur unnötigerweise der guten Kohle, für die ein drei- bis vierfacher Preis erzielt wurde, Konkurrenz machen würde. Es soll daher die Frage untersucht werden, ob es wirtschaftlicher ist, den verfügbaren Teil der Förderung zu verkaufen oder unter Erhöhung der Gesamtförderung den geringwertigen Teil der Vernichtung preiszugeben. Um hierbei

dem Momente der Konkurrenz Rechnung zu tragen, soll angenommen werden, daß die verkaufte Kohlenmenge in beiden Fällen zur Erzeugung der gleichen Energiemengen dienen solle, wobei zu bedenken ist, daß im allgemeinen der geringwertige Brennstoff ungünstiger ausgenutzt wird als der hochwertige.

Es bezeichne H den mittleren Heizwert der im zweiten Falle zu verkaufenden Kohle, a den Durchschnittserlös derselben, η den mit ihr erzielbaren thermischen Wirkungsgrad, H_0 den Heizwert der geringwertigen Sorte, η_0 den mit ihr erzielbaren Wirkungsgrad und b die Kosten, welche die Tonne Mehrförderung verursacht. Dann ermittelt sich der für die geringe Kohle zu erzielende Preis, bei dem beide Geschäftspraktiken den gleichen Nettogewinn abwerfen, nach der Gleichung

$$x = \frac{H_0 \cdot \eta_0}{H \cdot \eta} \cdot (a-b)$$ *)

---

*) Es sei A die verkaufte Menge im Falle II,
F die Förderung im Falle II,
f die Förderkosten pr t im Falle II,
B die der Vernichtung preiszugebende Menge, dann betragen im Falle I

die Förderung $F - \frac{H_0 \eta_0}{H \eta} B$

die Selbstkosten $f F - b B \frac{H_0 \eta_0}{H \eta}$

der Erlös $a \left(A - \frac{H_0 \eta_0}{H \eta} B \right) + x B$

der Nettogewinn $A \cdot a - F \cdot f + x B - (a-b) \frac{H_0 \eta_0}{H \eta} B$

im Falle I

die Selbstkosten $F \cdot f$

der Erlös $A \cdot a$

der Nettogewinn $A \cdot a - F \cdot f$

Soll nun x derjenige Preis sein, bei welchem die Gewinne in beiden Fällen gleich sind, so ist $a A - f F = a A - f F + x B - (a-b) \frac{H_0 \eta_0}{H \eta} B$

$$x = \frac{H_0 \eta_0}{H \eta} (a-b)$$

Der Durchschnittserlös a der durch Verkauf abgesetzten oberschlesischen Kohle betrug im Jahre 1911 8,78 M./t. Bei der Berechnung von b ist zu berücksichtigen, daß eine Reihe von Betriebskosten, z. B. die der Wasserhaltung und Bewetterung nur in geringem Maße von der Förderung abhängig sind. Die Kosten einer Tonne Mehrförderung sind daher erheblich niedriger als die durchschnittlichen Selbstkosten und können im vorliegenden Falle, solange die Mehrförderung keine Erweiterung der Anlagen nötig macht, zu ca. 3,50 M./t eingeschätzt werden. Für einen Heizwert der in Frage stehenden Kesselkohle von 6000 W.E. ergibt sich dann ein Preis von ca. 4,10 M./t, bei dem sich der Verkauf noch rentieren würde. Ein derartiger Preis wird aber schon wegen der geringeren Haltbarkeit der Staubkohle und des größeren Aschengehaltes in der Regel nicht erzielt. Die Grube kann also ohne Bedenken auf den Verkauf dieser Sorte verzichten und stattdessen die Gesamtförderung entsprechend erhöhen. Daß trotzdem zu Zeiten, an denen die Gruben nicht genug fördern können, um den Bedarf zu decken, auch die minderwertige Kohle eine willkommene Einnahmequelle sein kann, bedarf nicht der Erwähnung.

Wir sehen hier ein Beispiel, wo die privatwirtschaftlichen Interessen, deren Verfolgung klar vorgezeichnet scheint, sich in offenbaren Gegensatz zur Volkswirtschaft setzen. Denn der Volkswirt muß eine solche Verschwendung von Nationalvermögen heute, wo die Erschöpfung der Kohlenvorräte in wenigen Jahrhunderten zu erwarten ist, auf das lebhafteste bedauern. Bei näherem Zusehen aber zeigt sich, daß zur Überbrückung dieser Gegensätze bereits Wege beschritten sind: Einer davon ist die direkte Umwandlung der Kohle in hochwertigere Produkte, wie sie der Kokereibetrieb mit weitgehender Nebenproduktengewinnung darstellt. Jetzt, wo der Betrieb des sich mehr und mehr einbürgernden Dieselmotors mit Steinkohlenteeröl gesichert ist und die Preise in stetigem Steigen begriffen sind, eröffnen sich diesem Zweige

des Bergbaues die günstigsten Aussichten. Man darf hoffen, auch aschereiche Sorten im Hinblick auf die erzielbaren hohen Preise der Nebenprodukte wirtschaftlich zu verkoken. Für die schlecht backende Flammkohle, wie sie in diesem Falle vorlag, kam allerdings der Kokereibetrieb kaum in Betracht. Eher könnte die Brikettierung in Erwägung gezogen werden, sofern mehrere Zechen der Gesellschaft ihre nicht direkt absetzbaren Produkte dazu vereinigen. Eine andere Lösung der Aufgabe wäre die Verwertung der verfügbaren Mengen zum Kraftbetriebe, wobei namentlich solche vorhandenen oder neu zu errichtenden Anlagen in Frage kommen, die durch das Erfordernis gewaltiger Energiemengen ausgezeichnet sind, also Walzwerke, Elektrostahlöfen, elektrochemische Fabriken etc. Es ist kaum zu bezweifeln, daß sich auf diesem Wege mindestens ein dem Minimalverkaufspreise der Kohle entsprechender Betrag herauswirtschaften lassen muß.

Wenn ich aus diesen Gründen den bei Selbstkostenberechnungen der Zeche eingesetzten Wert von 1,60 M./t als zu niedrig bezeichnen muß, so kann ich andererseits nicht umhin, der verbreiteten Anschauung *) zu widersprechen, daß als unterster Wert der Selbstkostenpreis einzusetzen ist. Diese Anschauung geht von der irrtümlichen Anschauung aus, daß man besser tut, die Förderung entsprechend einzuschränken, als unter dem Selbstkostenpreise zu verkaufen. Einmal besitzt der Bergbaubetrieb gegenüber den meisten anderen Produktionszweigen die Eigentümlichkeit, daß das hochwertigste Produkt die gleichen Selbstkosten verursacht als das geringwertigste, und weiterhin können die hochwertigen Kohlensorten nicht ohne erheblichen Anfall geringerer Qualitäten erzeugt werden. Bestimmte Grenzen nach oben oder unten zu ziehen ist hier nicht angängig. Bestimmend ist allein die mögliche Verwertbarkeit unter

*) Glückauf 1909, S. 1822.

Berücksichtigung der Konkurrenzstellung gegenüber besseren Sorten.

Es würde nun zu weit führen, wollte ich den Nachweis erbringen, bei welchem Kohlenpreise die Verwertung der Staubkohle in Kraft oder Wärme zehrenden Nebenbetrieben normale Erträge abwirft. Es soll daher mit einem Schätzungswerte von 3,60 M./t gerechnet werden. Da im folgenden die Energiekosten überall gesondert aufgeführt werden, so wird es ein Leichtes sein, die Selbstkosten für andere Kohlenpreise umzurechnen.

ZEHNTER ABSCHNITT.

Das Anlagekapital, seine Verzinsung und Abschreibung.

Laufende Statistiken über die Betriebskosten wurden seitens der Zechenverwaltung nur an vereinzelten Stellen wie z. B. bei der Lokomotivförderung geführt. Für die Höhe der aufgewendeten Anlagekapitalien waren aus diesem Grunde keine anderen Unterlagen vorhanden, als sie die Rechnungsübersichten der betreffenden Jahre und, wo diese in Einzelheiten versagten, die Akten verschaffen konnten. Diese Feststellungen verursachten einen großen Aufwand an Zeit und Mühe, mußten doch die Bücher mehr als zweier Jahrzehnte durchgesehen werden. Es gelang jedoch, wie Zahlentafel 18 zeigt, in allen Fällen, welche für die Ermittelung der Selbstkosten in Frage kamen, die Kapitalien mit genügender Genauigkeit, zumeist noch unterteilt, zu erfassen. Außer Ansatz mußten allerdings die Grundstückskosten bleiben. Die betreffenden Ankäufe lagen meist soweit zurück, daß ihre Berücksichtigung bei der Berechnung der heutigen Selbstkosten kaum ein wissenschaftliches Interesse bieten kann. Auch würde die Verteilung der Grundstückskosten auf die einzelnen Teile des Betriebes Schwierigkeiten machen, so daß es zweckmäßiger erscheint, im gewünschten Falle dieselben getrennt vom übrigen, ähnlich wie die Verwaltungskosten zu untersuchen.

Zahlentafel 18.

	Erbaut	Anlagekapital der				
		Baulichkeiten	Rohrleitungen	Maschinen	Elektr. Schaltanlage, Kabel	Summe
Batteriekesselanlage . .	1899/1903	141 800	225 700		—	367 500
Flammrohrkesselanlage	1892/1903	98 200	153 100		—	251 300
Bekohlungsanlage . . .	1911/12	—	—	—	—	180 100
Waldbachpumpstation .	1898/1910	50 200		25 000	4 500	79 700
Zentralkondensation . .	1905/09	64 300	118 300			182 600
Elektrische Zentrale. .	1909	192 800	954 500			1 147 300
Turboaggregate	1907/09	—	—	—	—	295 200
Liegende Maschinenaggregate	1902/07	—	270 600		20 800	291 400
Stehende Maschinenaggregate	1899/1909	—	191 600		16 900	208 500
Druckluftzentrale . . .	1908/11	56 000	14 400	79 800	—	150 200
Druckluftverwertung .	1908/12	—	154 000	64 800	—	218 800
Schachtförderung . . .	1859/1912	—	—	—	—	2 247 700
Fördermaschine Mauve.	1903/09	30 600	20 500	44 300	—	95 400
„ Benjamin	1893/1909	42 400	19 000	89 700	—	151 100
„ Gruschka	1900/12	95 900	22 300	203 900	—	322 100
Förderhaspel Mauve 400 m-Sohle	1903/04	—	—	—	—	11 700
Streckenförderung. . .	?	—	—	—	—	883 700
Lokomotivförderung . .	1907/12	—	—	—	—	439 300
Verteilungsstation 300 m-Sohle	1909/10	—	—	—	50 000	50 000
Wasserhaltung	1900/12	—	—	—	—	797 400
Hauptwasserhaltung 300 m-Sohle	1900/10	46 800	45 600	254 400	19 400	366 200
Alte Wasserhaltung 500 m-Sohle	1901/05	15 700	9 400	74 700	21 900	121 700
Neue Wasserhaltung 500 m-Sohle	1910/12	67 200	51 700	70 400	63 500	252 800
Bewetterung exklusive Düsenbetrieb	1881/1910	—	—	—	—	171 900
Ventilatoren	1895/1910	16 700	—	37 200		53 900

Im einzelnen können zu vorgenannter Zahlentafel noch folgende Erläuterungen gegeben werden. Der höhere Preis der Batteriekesselanlage gegenüber den Flammrohrkesseln ist zum Teil mit dem nachträglichen Einbau von Überhitzern zu erklären. Die Bekohlungsanlage wurde durch die erforderlichen umfangreichen Untertunnelungen verteuert. In den Anlagekapitalien der Zentralkondensation sind Vakuumleitungen nicht inbegriffen. Diese wurden zu den betreffenden Maschinen geschlagen. Die bei den Fördermaschinen und dem Haspel Mauveschacht 400 m Sohle aufgeführten Beträge beziehen sich nur auf Maschinenhaus und Maschine bis zum Seil, dagegen enthält die mit Schachtförderung betitelte Summe außerdem noch die Kosten der Schächte, der Schalen, Aufsatzvorrichtungen, Füllörter und Fördergerüste. Weiterhin sind hierin eingeschlossen die Schächte Richard, Ludwig und Heinrich, letztere beiden jedoch nur zur Hälfte; die andere Hälfte wurde, da dieselben ausziehende Wetterschächte sind, der Bewetterung zur Last gelegt. Das Anlagekapital der Fördermaschine Mauveschacht setzte sich aus den Kosten des im Jahre 1902 erfolgten Umbaues und dem auf 10 000 M. geschätzten Altwerte zusammen. Das Anlagekapital der Streckenförderung schließt die Lokomotivförderung, die Förderwagen und die der Streckenförderung dienenden Haspel ein; die Aufwendungen für Auffahren neuer Bremsberge und Verlegen von Grubengleisanlagen, soweit letztere nicht zur Lokomotivförderung gehörten, wurden sinngemäß laufend unter Betriebskosten verbucht. Indirekte Kosten durften daher hierfür nicht in Ansatz gebracht werden. Die Kosten der elektrischen Verteilungsstation 300 m Sohle wurden gesondert ermittelt; bei Feststellung der Betriebskosten wurden dieselben nach Maßgabe des durch die Station vermittelten Stromes den einzelnen Verbrauchern, also zur Hauptsache der Wasserhaltung 300 m-Sohle aufgelegt. Bei den Kosten der Bewetterung wurden Wetterdämme, -Strecken etc. nicht als Anlagekapital aufgefaßt. Die hierfür laufend erforderlichen

Aufwendungen wurden vielmehr unter Betriebskosten verrechnet.

Für die Verzinsung des Anlagekapitals wurde ein Zinsfuß von 5 % in Ansatz gebracht. Derselbe entspricht dem Ertrage, den im allgemeinen das Publikum bei der Anlage seines Kapitales in Industriewerten zurzeit erwarten darf. Für die Verzinsung des Amortisationsfonds wurden jedoch nur 4,5 % angesetzt, da vielfach das Effektenkonto aus Staatspapieren, Obligationen oder besonders sicheren Industriewerten besteht, welche eine geringere Rente abwerfen.

Für die Bemessung der Abschreibungsquote war nur der Anlagewert abzüglich Altwert in Rechnung zu setzen. Da jedoch die Feststellung des Altwertes hier außerordentlich umständlich gewesen wäre, so wurde bei der Berechnung der Selbstkosten von der vollen Summe abgeschrieben. Die Abschreibungsdauer fällt dann nicht mehr mit der Lebensdauer zusammen, sondern ist entsprechend kleiner. Für die Bemessung der letzteren kam nicht derjenige Wert in Betracht, welcher bei Voranschlägen gewählt wird und in der Regel recht ungünstig ist, sondern man mußte die an untersuchter Anlage tatsächlich beobachtete Lebensdauer der einzelnen Betriebsteile zu Grunde legen. Denn nur so kann dem Umstande Rechnung getragen werden, daß Unternehmungen, welche ihre Anlagen innerhalb verschiedener Zeiten erneuern, auch eine verschiedene Gestaltung ihrer indirekten Betriebskosten aufweisen.

Als Lebensdauer wurden eingesetzt für

Schächte	100	Jahre
Gebäude und Wasserbauten	40	„
Dampfkessel und deren Rohrleitungen	25	„
Kabel	25	„
Bekohlungsanlage	25	„
Turbinen, Maschinen einschließlich Rohrleitungen je nach dem Maße ihrer Ausnutzung	15—20	„
Fördermaschinen, Haspel	20	„

Förderwagen	5	Jahre
Lokomotivförderung	18	„
Druckluftleitung	20	„
Druckluftwerkzeuge	5	„
Elektrische Schaltanlagen und Apparate	15	„

Zu den indirekten Kosten der Kesselanlagen traten ab 1. April 1912, zu welchem Termine die Inbetriebnahme der Elektrohängebahn als vollendet angesehen werden kann, diejenigen der Bekohlungsanlage. Dieselben verteilten sich auf die beiden Kesselanlagen im Verhältnis der Einzelverbräuche an Kohle. Die Verzinsung und Abschreibung der neuen Anlage 500 m-Sohle konnte gleichfalls erst nach erfolgter Inbetriebnahme zu Beginn des letzten Vierteljahres vorgenommen werden. Die Kosten der Druckverteilung wurden im Verhältnis der Luftverbräuche auf die Bewetterungsdüsen und die maschinelle Kohlengewinnung verteilt. Da der Ersatz für Zubehörteile von Bohrhämmern und Schüttelrutschen, also Preßluftschläuche, Bohrer, Ventile, Hähne etc. laufend auf Betriebskonto verrechnet wurde und diese Teile nach Unbrauchbarwerden der zugehörigen Hämmer und Rutschen austauschbar blieben, so brauchten die erstmalig dafür erforderlich gewesenen Aufwendungen nur mit einer der Lebensdauer des gesamten Druckluftbetriebes entsprechenden Quote — hier geschätzt 30 Jahre — abgeschrieben werden. Während der kürzeren Dauer von 5 Jahren war daher nur das Kapital der Hämmer und Rutschenmotore allein in Höhe von ca. 28 000 M. zu tilgen.

ELFTER ABSCHNITT.

Die direkten Betriebskosten.

Gang der Ermittelung.

Die Einrichtung der Betriebsbücher der Grube stellte mich vor die Notwendigkeit, die Betriebskosten für jeden einzelnen Monat gesondert festzustellen. Während dieser Zwang die Menge des zu verarbeitenden Materials ganz außerordentlich vermehrte, brachte er auf der anderen Seite den Vorteil mit, daß ein etwa bei den Auszügen eines einzelnen Monates unterlaufener Fehler besser bemerkt werden und auch den tatsächlich auftretenden Schwankungen der Betriebskosten Beachtung geschenkt werden konnte. In keinem Falle begnügte man sich mit der Benutzung einer etwa vorhandenen Statistik der Zechenverwaltung, sondern ging stets auf die Quellen zurück. So wurde die Höhe der gezahlten Löhne aus den Lohnbelegen gewonnen, welche in der stattlichen Anzahl von ca. 30 Heften pro Monat zu verarbeiten waren. Die Gehälter für Aufsicht und Betriebsführung wurden nur, soweit sie die Kesselanlagen und die elektrische Zentrale angingen, verrechnet. Die Bezahlung zweier weiterer Maschinensteiger, des Maschinenmeisters und der Feldessteiger werden zweckmäßiger auf Verwaltungskosten übernommen, da sich kein geeigneter Modus der Verteilung auf einzelne Betriebe finden läßt. Den Materialverbrauch in Einheiten des betreffenden Stoffes lieferte mir das Ausgangsjournal der Materialienver-

waltung. Zur Ermittelung der Kosten dieses Materialverbrauches hatte mir die Schichtmeisterei in einen über 400 Einzelmaterialien enthaltenden Fragebogen die gezahlten Preise eingesetzt. Die Kosten der Reparaturen gingen aus den Betriebsbüchern der Werkstätten hervor. Wo die Betriebsbuchführung der Verwaltung eine für meine Zwecke nicht genügend weit getriebene Spezifizierung aufwies, mußte dieselbe durch besondere Organisationsformen ergänzt werden. So wurde beispielsweise über den Materialverbrauch bei Reparaturen an elektrischen Maschinen und Anlagen keine besondere Kontrolle ausgeübt. Hier ließ ich Vordruckkarten herstellen, von denen jeder Monteur einige Hundert Stück erhielt, und die er bei Empfang von Material unter Angabe der betreffenden Reparatur auszufüllen und abzuliefern hatte. Die Kosten der Reparaturen, soweit sie nicht von den Zechenwerkstätten selbst zu erledigen waren, wurden aus den laufenden Geldrechnungen entnommen. Die auf solche Art ermittelten jährlichen Betriebskosten sind aus Zahlentafel 19 ersichtlich. Dabei muß bemerkt werden, daß die Untersuchung sich nur über die Monate Oktober bis August erstreckte; die Jahreswerte der Kosten, sowie auch der Produktion an Kohle, Dampf, Elektrizität, Druckluft etc. wurden daraus durch Multiplikation mit $\frac{12}{11}$ erhalten.

Die Kesselanlagen.

Die Art der Verteilung der Material- und Reparaturkosten auf die beiden Kesselanlagen konnte nur zum größeren Teile festgestellt werden. Bei diesen ergab sich das Verhältnis der entfallenden Beträge fast genau so groß wie das Verhältnis der verfeuerten Kohlenmengen. Diese Tatsache weist darauf hin, daß der verschieden hohe Wirkungsgrad der beiden Anlagen sich nicht nur im Kohlenverbrauch, sondern in fast gleichem Maße auch in den übrigen Kosten äußert. Diejenigen Material- und Reparaturkosten, bei denen eine exakte

Zahlen-

	Batterie-kesselanlage	Flammrohr-kesselanlage	Pump-station am Waldbach	Zentral-kondensation
Verzinsung . . .	21 540	13 910	3 980	9 130
Abschreibung. .	7 830	5 010	1 390	6 300
Indirekte Kosten	29 370	18 920	5 370	15 430
Löhne	32 590	16 820	1 510	2 710
Kohle	216 200	91 800	—	—
Dampf	12 030	5 400	—	—
Kondensation .	—	460	—	—
Elektr. Energie.	1 600	890	6 200	39 150
Druckluft . . .	—	—	—	—
Wasser	800	2 950	—	6 230
Material	8 200	3 410	730	2 360
Reparaturen . .	28 520	13 220	2 200	5 550
Direkte Kosten.	299 940	134 950	10 640	56 000
Gesamtkosten .	329 310	153 870	16 010	71 430

	Lokomotiv-förderung	Strecken-förderung	Haupt-wasser-haltung 300 m-Sohle	Haupt-wasser-haltung 500 m-Sohle
Verzinsung . . .	21 970	44 190	20 510	9 250
Abschreibung. .	16 620	92 170	13 100	5 720
Indirekte Kosten	38 590	136 360	33 610	14 970
Löhne	19 500	534 850	5 520	5 300
Kohle	—	—	—	—
Dampf	—	—	—	—
Kondensation .	—	—	—	—
Elektr. Energie.	11 600	12 820	148 000	42 150
Druckluft . . .	—	60	—	—
Wasser	—	—	—	—
Material	3 580	180 840	12 000	5 640
Reparaturen . .	16 830	104 130	5 570	3 190
Direkte Kosten.	51 510	832 700	171 090	56 280
Gesamtkosten .	90 100	969 060	204 700	71 250

tafel 19.

Elektrische Zentrale	Druckluft-Zentrale	Hauptschacht-Fördermaschinen	Förderhaspel Mauve 400 m-Sohle	Schacht-Förderung
57 370	7 510	28 430	590	112 390
36 130	3 550	14 420	380	25 040
93 500	11 060	42 850	970	137 430
13 570	2 650	25 170	4 150	164 320
—	—	—	—	4 190
277 300	21 840	75 500	—	75 500
66 000	4 850	—	—	—
9 320	90	640	630	4 980
—	—	—	—	—
1 490	2 670	—	—	—
13 200	7 390	7 300	170	31 490
11 530	2 050	4 660	110	35 470
392 410	41 540	113 270	5 060	315 950
485 910	52 600	156 120	6 030	453 380

Gesamtwasserhaltung	Ventilatoren	Bewetterung		Maschinelle Kohlengewinnung
		durch Ventilatoren	durch Düsen	
32 900	2 700	8 600	2 420	8 520
20 760	1 350	1 420	1 550	9 160
53 660	4 050	10 020	3 970	17 680
16 320	1 990	20 790	8 500	560 700
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
204 500	24 610	24 610	—	—
110	—	—	16 500	35 930
—	—	—	—	—
21 730	1 020	18 340	3 550	18 650
13 330	610	3 050	1 680	11 010
255 990	28 230	66 790	30 230	626 290
309 650	32 280	76 810	34 200	643 970

Ermittelung der Verteilung nicht möglich war, wurden daher im gleichen Verhältnis repartiert. Auf die Ursache der hohen Reparaturkosten der Batteriekesselanlage, welche in der starken Anstrengung und dem ölhaltigen Speisewasser lag, war schon früher hingewiesen worden.

Die Bestimmung der Einheitskosten von Dampf, Elektrizität, Wasser und Kondensation stellte sich als eine Aufgabe von 4 Gleichungen mit 4 Unbekannten dar. Zur Erleichterung der Rechnung wurden zunächst immer drei der Größen schätzungsweise eingesetzt, wonach die vierte ermittelt werden konnte. Mit den erhaltenen Werten wurde das Verfahren so oft wiederholt, bis die Abweichung des eingesetzten Wertes von dem ermittelten sich in gewünschten Grenzen hielt. Als Einheitspreis für Frischwasser durfte jedoch nicht der zu errechnende Preis des Waldbachwassers eingesetzt werden, da zur Deckung des Bedarfes neben den Waldbachpumpen auch die Wasserleitung des Kreises und die Riedlerpumpe 200 m-Sohle herangezogen wurde. Die Kosten der letzteren legte ich der Wasserhaltung zur Last, so daß dieses Wasser den Kesselanlagen kostenlos zufiel. Für Kreiswasser wurden 5 Pf./cbm gezahlt. Die von der Waldbachstation gelieferten Wassermengen wurden, wie früher erwähnt, aus der Fahrzeit und dem durch Versuch bestimmten Lieferungsgrade, die der Riedlerpumpe aus der Fahrzeit und der minutlichen Nennleistung, die Kreiswassermengen durch Wassermesser bestimmt. Es ergab sich

Lieferung der Waldbächstation	513 600	cbm
„ „ Riedlerpumpe	272 000	„
„ an Kreiswasser (für Maschinenbetrieb)	100 000	„

Bei einem errechneten Preise des Waldbachwassers von 3,13 Pf./cbm stellte sich der durchschnittliche Wasserpreis auf 2,36 Pf./cbm. Die von der Flammrohrkesselanlage verbrauchten Frischwassermengen waren erheblich größer als die der Batteriekesselanlage, da die Förder-

maschinen fast während des ganzen Jahres auf Auspuff fuhren und auch das in den Heizkörpern und Kondenstöpfen sich abscheidende Kondensat verloren ging. Da hierauf die Kesselanlagen an und für sich keinen Einfluß hatten, mag es unangebracht erscheinen, ihnen die Kosten für diese verschiedenen Zustände aufzubürden. Richtiger wäre es, die angeschlossenen Anlagen, hier also die Fördermaschinen für den Verlust aufkommen zu lassen. Das Endresultat der Kosten einer Schacht-PS.-St. oder KW.-St. wäre natürlich das gleiche geblieben. Aus diesem Grunde wählte ich die einfachere und durchsichtigere Berechnungsweise.

Die Speisepumpenaggregate der Batteriekesselanlage fuhren in der Regel auf Auspuff, während die der Flammrohrkessel an die Kondensation angeschlossen blieben. Diese Anlage war demnach mit einem Teile der Kondensationskosten zu belasten.

Der Kohleverbrauch der Kesselanlagen einschließlich der auf Ludwigschacht zum Betriebe des dortigen Badehauses und der Fördermaschine verfeuerten Menge betrug 8,5 % der Jahresförderung. Um den Eigenverbrauch der Zeche zu erhalten, sind hiervon noch 23,4 % des Verbrauches der Batteriekesselanlage, die auf die Stromlieferung an fremde Betriebe entfallen, in Abzug zu bringen, so daß nur 7,1 % verbleiben. Bei einer Dampferzeugung von 230 000 t in der Batteriekesselanlage, von 139 000 t in der Flammrohrkesselanlage ergab sich der Dampfpreis zu 1,43 bezw. 1,11 M./t.

Die elektrische Zentrale.

Der Kühlwasserverbrauch der Turbogeneratoren, welcher zu 7 cbm pro Stunde und Generator gemessen wurde, brauchte der Zentrale nur teilweise zur Last gelegt werden, da das erwärmte Wasser ebenso wie das verbrauchte Kühlwasser des Kompressors zur Deckung des Frischwasserbedarfes der Kesselanlagen benutzt wurde. Es war daher nur der diesen Bedarf übersteigende Verbrauch in Rechnung zu setzen.

Der Materialverbrauch der Turbinen betrug nur 0,0091 Pf. pro erzeugte KW.-St., der der Kolbenmaschinen 0,31 Pf./KW.-St. Dieses für die letzteren so sehr ungünstige Verhältnis, welches unter normalen Bedingungen bei 1 : 10 liegt, kam daher, daß die letzteren sich im Betriebe ablösten und daher zeitweise leer mitlaufen mußten, während der Betrieb der Turbinen durchlaufend war. Auch die Reparaturkosten waren bei den Maschinen größer als bei den Turbinen. Sie betrugen 6390 M. gegenüber 1390 M. Allerdings waren bei Abschluß der Untersuchungszeit die Rechnungen über die erfolgte Neubeschaufelung noch nicht eingelaufen, so daß nur die von den eigenen Arbeitern geleistete Hilfe in Rechnung gesetzt werden konnte. Übrigens wäre es auch unangebracht gewesen, diese Reparatur gänzlich dem einen Jahr aufzulegen.

An den Maschinen traten zweimal erhebliche Zerstörungen auf; einmal brach der Kolben einer stehenden Maschine und durchschlug den Zylinderdeckel, das andere Mal riß eine der Schrauben am Pleuelkopf einer liegenden Maschine, wobei Rahmen und Zylinderdeckel zertrümmert, die Treibstange stark verbogen wurde.

Sehr erheblich fallen die Kosten der Zentralkondensation ins Gewicht, die hauptsächlich wegen des hohen Stromverbrauches und häufiger Reparaturen mit 34,6 Pf. pro t zu kondensierenden Dampf groß waren. Genaue Wassermessungen konnten daselbst aus Mangel an Wassermessern nicht vorgenommen werden.

Die Stromkosten ergaben sich zu 3,58 Pf./KW.-St. Diese Zahl ist als Mittelwert zwischen dem Preise des Maschinenstromes und dem auf 2000 Volt transformierten Strome, welcher ca. 0,02 Pf. teurer zu stehen kommt, aufzufassen.

Der Druckluftbetrieb.

Die Kosten der Druckluft ergaben sich ab Kompressor zu 0,215 Pf./cbm (0^0 und 760 mm W.S.) oder 2,88 Pf./PS.-St.$_{isoth.}$ Bemerkenswert hoch war der Aufwand an Schmier- und Putz-

materialien mit über 20 M. pro Tag. Das zur Schmierung der Lager dienende Dynamoöl wurde nach Möglichkeit wieder gereinigt und von neuem verwandt, während das Zylinderöl mit dem Dampfwasser und der Luft eine Emulsion bildete und nur für ganz rohe Betriebe wie Kettenbahnen etc. in Frage kam. Von dem Einheitspreise dieses Schmiermittels wurden in Rücksicht hierauf 3 Pf./kg abgesetzt. Der Verbrauch der einzelnen Monate schwankte erheblicher, als es mit der wechselnden Leistung hätte gerechtfertigt werden können. Wenn man den Maschinisten mit einer Prämie am Materialverbrauch interessierte und ihm aufgäbe, die Lager- und Zylindertemperaturen in bestimmten Zeitintervallen zu notieren, so würden gewiß Ersparnisse erzielt werden können.

Es ist vielfach bei Rentabilitätsberechnungen der Fehler gemacht worden, an der Verwendungsstelle der Druckluft mit wenig höheren Preisen zu rechnen, als sie für die Erzeugungsstelle gelten. Die Untersuchung hat nun gelehrt, daß die Kosten bei der Übertragung auf über das Doppelte anschwellen, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Verzinsung u. Abschreibung der Rohrleitung 12620 M. oder	24,0 %	der Erzeugungskosten
Umlegen (nicht Neulegen) von Rohrleitungen gemäß dem Fortschreiten des Abbaues 28810 M. oder	54,8 %	„ „
Materialverbrauch beim Umlegen 11240 M. oder	21,4 %	„ „
Reparaturen 3530 M. oder	6,7 %	„ „
	106,9 %	der Erzeugungskosten
Undichtigkeitsverlust	21,5 %	der Erzeugung.

Kosten an der Verwendungsstelle 0,567 Pf./cbm oder 7,6 Pf./PS.-St.

Da die Druckluft zu 31,5 % zur Bewetterung, zu 68,5 % zur Kohlengewinnung diente, so wurden die Kosten der Ver-

teilung diesen beiden Betrieben aufgelegt. Dabei zeigte sich, daß der Düsenbetrieb trotz seiner früher dargelegten so sehr geringen Bewetterungswirkung ungefähr halb so viel Kosten verursacht, wie die gesamte übrige Wetterwirtschaft einschließlich Betrieb der Ventilatoren. Es ist daher für schlagwetterfreie Gruben das Bedenken wohl am Platze, ob man nicht besser, ganz abgesehen von dem übrigen Druckluftbetriebe, auf die Düsenbewetterung vollkommen verzichten und die entsprechende Wirkung durch andere Mittel, insbesondere durch elektrisch angetriebene Sonderventilatoren erzielen soll. Jedenfalls ist seitens der Betriebsführer darüber zu wachen, daß nicht allein wegen irgend einer geringfügigen Arbeit, welche mit Druckluft bequem vorgenommen werden kann, der Kompressor auch den Sonntag über läuft.

Die Bewetterung.

Es wurden einmal die Kosten des Betriebes der Ventilatoren allein ausschließlich Wetterschächten, -Strecken etc. und ferner die der gesamten Wetterwirtschaft ausschließlich Düsenbetrieb untersucht. Effektiv wurden 462 000 PS.-St. geleistet und dabei 2970 Millionen cbm angesaugt. Die erstgenannten Kosten ergaben sich zu 6,99 Pf./PS.-St. oder 0,00101 Pf./cbm, die zweitgenannten zu 16,63 Pf./PS.-St. oder 0,00259 Pf./cbm. Die Bedienung der Ventilatoren gestaltete sich billig, da dieselbe durch Halbinvaliden besorgt werden konnte.

Die Wasserhaltung.

Die Kosten der effektiven Arbeit in gehobenem Wasser ergaben sich für die Hauptwasserhaltung 300 m-Sohle zu 4,92 Pf./PS.-St., für die Hauptwasserhaltung 500 m-Sohle zu 6,36 Pf./PS.-St., für die Gesamtwasserhaltung zu 5,45 Pf./PS.-St. Bezogen auf die zutage gehobene Wassermenge betrugen die Kosten 7,25 Pf./cbm.

Es wurde bereits früher erwähnt, daß ein großer Teil der gehobenen Wasser vom Spülversatz herrührt. Leider mußte ich davon Abstand nehmen, auch diesen Betrieb in den Kreis meiner Untersuchungen zu ziehen; denn einmal mußten bei der Fülle des zu verarbeitenden Materials gewisse Grenzen gezogen werden, dann auch hätte die Messung so großer Mengen besondere Einrichtungen und eine fortlaufende Kontrolle nötig gemacht. Es eröffnet sich jedoch hier der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung ein außerordentlich dankbares Gebiet. Zweifellos wird sich durch eine Untersuchung über das zweckmäßigste Verhältnis zwischen Versatzmaterial und Wasser, sowie sparsame Verwendung des letzteren die Rentabilität heben lassen; auch wäre eine genaue Gegenüberstellung dieser Kosten mit denen des Trockenversatzes wünschenswert.

Die Förderanlagen.

Wie aus der Kostenzusammenstellung für die Fördermaschinen hervorgeht, machen die Dampfausgaben rund 50 % der Gesamtkosten aus. In dieser Tatsache findet das emsige Bestreben der Fabrikanten, die Ökonomie ihrer Maschinen zu verbessern, ihre Berechtigung. Daß der Erfolg jedoch zu einem beträchtlichen Teile von Faktoren des Betriebes und weniger von denen der Fabrikation bedingt ist, wurde bereits früher ausgeführt. Reparatur- und besonders Materialkosten sind im Vergleich mit anderen Dampfantrieben dank der an und für sich geringen zeitlichen Ausnutzung der Fördermaschinen niedrig. Umgekehrt verhält es sich mit den Löhnen, da der verantwortungsvolle Betrieb eine bessere Bezahlung der Maschinisten und das Arbeiten in drei Schichten nötig macht. Die Kosten bis zum Seil ausschl. stellten sich auf 12,30 Pf./Schacht-PS.-St.

Mit diesen Hauptschachtfördermaschinen wegen der viel geringeren Leistungsmöglichkeiten wirtschaftlich kaum vergleichbar ist trotz seines günstigeren Energieverbrauches

der elektrische Förderhaspel Mauveschacht 400 m Sohle. Hier stellte sich die Schacht/PS.-St. auf 67,9 Pf. Die Kosten der Lokomotivförderung beliefen sich auf 7,38 Pf./tkm oder 6,34 Pf. pro bewegte t.

Die maschinelle Kohlengewinnung.

In der angegebenen Lohnsumme sind enthalten 8200 M. für Bedienung der Schüttelrutschen, 18 500 M. für Umlegen der Preßluftleitungen und 534 000 M. Bruttolöhne der Schlepper und Häuer. Diese haben für den Sprengstoffverbrauch, welcher einen Wert von 128 000 M. darstellt, aufzukommen.

Der Verbrauch an Schmiermaterial war gering; er betrug nur 690 M. Der Verschleiß der Bohrhämmer und Schüttelrutschen an Schläuchen, Bohrern, Hähnen, Ventilen etc. betrug dagegen 8410 bezw. 1870 M. Die übrigen Materialkosten entfallen auf das Konto der Preßluftleitung. Die Reparaturkosten an Bohrhämmern und Schüttelrinnen ergaben sich zu 5600 bezw. 1750 M. Bei einer Produktion von 554 000 t stellten sich die Kosten der Kohlengewinnung auf 1,16 M./t. Auf den Maschinenbetrieb allein exkl. Löhnen für Häuer und Schlepper entfallen davon 19,9 Pf./t. Leider liegen ähnliche Zahlen für den elektrischen Bohrbetrieb zur Zeit zur Vergleichung nicht vor, so daß ich mich darauf beschränken muß, an dieser Stelle die wesentlichsten Merkmale des Druckluftbohrbetriebes kurz zusammenzufassen:

Vorteile.

1. Der rohe Betrieb erfordert nur ein wenig geschultes Personal. Fahrlässige oder böswillige schwere Störungen des Betriebes sind kaum zu befürchten.
2. Unbedingte Schlagwettersicherheit.
3. Unfallmöglichkeit beim Bedienen der Werkzeuge selbst ist gering; daher ist der Betrieb frei von lästigen bergbehördlichen Überwachungsvorschriften.
4. Möglichkeit einer schnellen lokalen Bewetterung.

Nachteile.

1. Unvermeidbare große Verschwendung von Druckluft. Sehr ungünstiger Wirkungsgrad der Energieverwertung.
2. Der ungeheure Lärm macht die Bergleute unfähig, in bestimmten Geräuschen des Gebirges Warnungssignale zu erkennen.
3. Man spricht von schweren Erkrankungen des Rückenmarkes infolge der starken Erschütterungen, welche auf den Körper des den Hammer Bedienenden übertragen wird. Diese Krankheiten, welche zu ihrer Entwickelung naturgemäß längere Zeit brauchen, sind bisher noch nicht einwandsfrei festgestellt oder auf ihre Ursachen zurückgeführt worden.

Die erfaßten Kosten im Rahmen des gesamten Etats.

Die Selbstkosten im oberschlesischen Bergbau liegen zwischen 5,50 und 6,50 M./t. Genaue Zahlen hierüber finden sich nicht veröffentlicht. In diesem Betrage sind die gesamten direkten Betriebskosten und ein der Abschreibung des Anlagekapitales entsprechender Wert enthalten. Wo eine Abschreibung nicht in dem Sinne erfolgt, wie sie hier vorgenommen wurde, dürfte man auf die gleichen Zahlen kommen, wenn man stattdessen die Beträge des Erneuerungskontos den direkten Betriebskosten zuschlägt. Die Kosten einer Generalverwaltung und die Verzinsung des Anlagekapitals sind in dem angegebenen Werte nicht enthalten. Demgegenüber betrug im Jahre 1911 der Erlös der durch Verkauf abgesetzten oberschlesischen Kohle 8,78 M. Um diesen Wert mit den Selbstkosten in Vergleich setzen zu können, muß man den Erlös auf die Tonne gef örderter Kohle beziehen und dabei den Eigenverbrauch der Zeche mit dem der Betriebskostenberechnung zu Grunde gelegten Werte in Rechnung setzen. Man erhält dann für Verhältnisse, wie sie bei der

Ferdinandgrube vorlagen, einen Erlös von ca. 8,30 M. pro geförderte Tonne.

Es wäre nun zu ermitteln, welchen Anteil die untersuchten Teile des Zechenbetriebes an den gesamten Selbstkosten besitzen, beziehungsweise wieviel davon durch vorliegende Arbeit nachgewiesen wurde. Die aus 11 Monaten ermittelte, auf ein Jahr umgerechnete Produktion betrug 1 030 000 t. Die einzelnen Selbstkosten, bezogen auf die Tonne geförderter Kohle ergaben sich dann, wie folgt:

	Mit Verzinsung		Ohne Verzinsung des Anlagekapitals	
Maschinelle Kohlengewinnung . . .	1,163	M./t	1,148	M./t
Streckenförderung	0,940	„	0,897	„
Schachtförderung	0,440	„	0,331	„
Wasserhaltung	0,301	„	0,269	„
Bewetterung	0,108	„	0,097	„
Für andere Zwecke ausschließlich fremde Betriebe erzeugte Energie	0,140	„	0,126	„
	3,092	M./t	2,868	M./t

Somit wurde nur etwa die Hälfte der Selbstkosten erfaßt. Den übrigen Teil beanspruchten diejenigen Betriebe, welche von der Untersuchung ausgeschlossen werden mußten: Die Vor- und Ausrichtungsarbeiten, die Grubenzimmerung, der Versatz, die Aufbereitung, Verladung, Verwaltung, die Grundstückskosten und die recht beträchtlichen Abgaben öffentlich-rechtlicher Natur.

Zusammenfassung.

Nach einer Beschreibung der gesamten Maschinenanlagen der Ferdinandgrube wird eine vom Verfasser eingerichtete Betriebskontrolle geschildert, die dazu bestimmt war, ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebes den Wärmeverbleib der unter den Kesseln verfeuerten Kohle bis zur Nutzarbeit in gehobenem Wasser, geförderter Wettermenge, Schachtarbeit, Nutzwärme der Dampfheizung etc. zu verfolgen. Der Genauigkeitsgrad dieser Kontrolle, welche durch vorgenommene Einzelversuche ergänzt wurde, mußte jeweilig der Bedeutung der einzelnen Energieströme angepaßt werden, um die Verarbeitungsmöglichkeit des einkommenden großen Zahlenmaterials zu sichern. Es werden die Ergebnisse der 11 Monate lang durchgeführten Messungen mitgeteilt, wobei der lückenlose Nachweis des Energieverbleibes unerwartet große Verluste in verschiedenen Teilen der Anlage, im besonderen bei der Dampfheizung, den Fördermaschinen und dem Druckluftbetriebe aufdeckt. Die Ursachen dieser Verluste werden besprochen und bestimmte Forderungen für einen wirtschaftlicheren Betrieb derartiger Anlagen aufgestellt. Auf Grund der so ermittelten Energieverbrauchszahlen und der aus den Betriebsbüchern der Werksleitung entnommenen Beträge an gezahlten Löhnen, verbrauchtem Material und aufgewendeten Reparaturen wird eine ins Einzelne gehende Betriebskostenberechnung aufgeführt, die, abgesehen von Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitals, nur auf meßtechnisch bestimmten, beziehungsweise tatsächlich gezahlten Werten fußt und als Schätzungswert allein den Preis der zur Verfeuerung gelangten Kohle enthält.